



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112166355 A

(43) 申请公布日 2021.01.01

(21) 申请号 201980035049.1

(22) 申请日 2019.04.04

(30) 优先权数据

62/652,467 2018.04.04 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.11.24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2019/025876 2019.04.04

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/195608 EN 2019.10.10

(71) 申请人 II-VI特拉华有限公司

地址 美国特拉华州

(72) 发明人 李珍亨

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 高岩 杨林森

(51) Int.Cl.

G02B 6/122 (2006.01)

G02B 6/30 (2006.01)

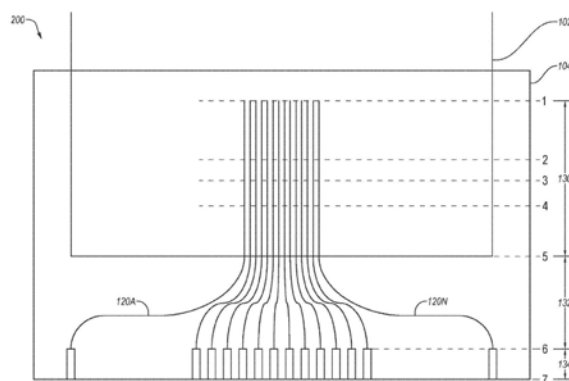
权利要求书3页 说明书13页 附图16页

(54) 发明名称

具有扇出中介层的绝热耦合光子系统

(57) 摘要

光子系统可以包括PIC和中介层。PIC可以包括第一SiN波导。中介层可以包括第二SiN波导和第三SiN波导，第二SiN波导和第三SiN波导在第一波导堆叠的交叠区域中与第一SiN波导基本上竖直对准，该交叠区域可以包括第一波导堆叠中的该第一波导、该第二波导以及该第三波导。在交叠区域内，第二SiN波导可以包括竖直锥形部，竖直锥形部朝向第一SiN波导将第二SiN波导的厚度从初始厚度增加至增加的厚度。第一波导堆叠还可以包括非交叠区域，在该非交叠区域中，中介层不与PIC交叠。非交叠区域可以包括第二SiN波导和第三SiN波导。在非交叠区域内，第二SiN波导可以保持增加的厚度，并且第二SiN波导和第三SiN波导可以包括第一横向弯曲部。



1. 一种光子系统,包括:

光子集成电路 (PIC), 其包括第一氮化硅 (SiN) 波导; 以及

中介层, 其包括在第一波导堆叠的交叠区域中与所述第一SiN波导基本上竖直对准的第二SiN波导和第三SiN波导, 其中:

所述交叠区域包括所述第一波导堆叠中的所述第一波导、所述第二波导以及所述第三波导;

在所述交叠区域内, 所述第二SiN波导包括竖直锥形部, 以用于在所述第一SiN波导与所述第二SiN波导之间进行绝热光模式转移, 所述竖直锥形部在朝向所述第一SiN波导的方向上, 将所述第二SiN波导的厚度从初始厚度增加至增加的厚度;

所述第一波导堆叠还包括非交叠区域, 在所述非交叠区域中, 所述中介层不与所述PIC交叠;

所述非交叠区域包括所述第二SiN波导和所述第三SiN波导; 以及

在所述非交叠区域内, 所述第二SiN波导保持所述增加的厚度, 并且所述第二SiN波导和所述第三SiN波导包括第一横向弯曲部。

2. 根据权利要求1所述的光子系统, 至少还包括像所述第一波导堆叠一样配置的第二波导堆叠, 其中, 所述第一波导堆叠的所述第一横向弯曲部和所述第二波导堆叠的第二横向弯曲部使得所述第一波导堆叠的所述第二SiN波导和所述第三SiN波导与所述第二波导堆叠的第二SiN波导和第三SiN波导分开。

3. 根据权利要求2所述的光子系统, 其中, 在所述第一波导堆叠的交叠区域和所述第二波导堆叠的交叠区域中, 所述第一波导堆叠的所述第二SiN波导和所述第三SiN波导与所述第二波导堆叠的所述第二SiN波导和所述第三SiN波导具有100 μm 的横向间距。

4. 根据权利要求3所述的光子系统, 其中, 在所述第一波导堆叠的非交叠区域和所述第二波导堆叠的非交叠区域中, 所述第一波导堆叠的所述第二SiN波导和所述第三SiN波导与所述第二波导堆叠的所述第二SiN波导和所述第三SiN波导具有250 μm 的横向间距。

5. 根据权利要求1所述的光子系统, 其中, 所述交叠区域包括用于将所述PIC与所述中介层对准的一个或更多个机械对准结构。

6. 根据权利要求1所述的光子系统, 其中, 所述中介层的所述第二SiN波导在厚度减小之后终止。

7. 根据权利要求1所述的光子系统, 其中, 在所述第二SiN波导和所述第三SiN波导被配置为高对比波导, 其中所述第二SiN波导和所述第三SiN波导分别具有250纳米和20纳米的厚度且竖直间隔开200纳米的情况下, 所述第二SiN波导和所述第三SiN波导被配置成促进与所述第一SiN波导的光模式转移。

8. 根据权利要求7所述的光子系统, 其中, 在所述第二SiN波导和所述第三SiN波导被配置为低对比波导, 其中所述第二SiN波导和所述第三SiN波导分别具有20纳米的厚度且竖直间隔开200纳米的情况下, 所述第二SiN波导和所述第三SiN波导被配置成抑制与所述第一SiN波导的光模式转移。

9. 一种扇出中介层, 包括:

第一上氮化硅 (SiN) 波导;

第一下SiN波导, 其平行于所述第一上SiN波导延伸并被移位在所述第一上SiN波导下

方;

第二上SiN波导;

第二下SiN波导,其平行于所述第二上SiN波导延伸并被移位在所述第二上SiN波导下方;

其中:

所述第一下SiN波导包括第一竖直锥形部,所述第一竖直锥形部的厚度沿着所述第一竖直锥形部的长度离开所述第一上SiN波导而竖直地增加;

所述第一上SiN波导和所述第一下SiN波导包括第一横向弯曲部;

所述第二下SiN波导包括第二竖直锥形部,所述第二竖直锥形部的厚度沿着所述第二竖直锥形部的长度离开所述第二上SiN波导而竖直地增加;

所述第二上SiN波导和所述第二下SiN波导包括第二横向弯曲部;以及

所述第一横向弯曲部和所述第二横向弯曲部使得所述第一上SiN波导和所述第一下SiN波导与所述第二上SiN波导和所述第二下SiN波导横向地分开。

10. 根据权利要求9所述的扇出中介层,其中:

所述第一下SiN波导包括第三竖直锥形部,以在所述第一上SiN波导与所述第一下SiN波导之间形成第一绝热耦合器,所述第三竖直锥形部的厚度沿着所述第三竖直锥形部的长度减小;

所述第二下SiN波导包括第四竖直锥形部,以在所述第二上SiN波导与所述第二下SiN波导之间形成第二绝热耦合器,所述第四竖直锥形部的厚度沿着所述第四竖直锥形部的长度减小;

11. 根据权利要求10所述的扇出中介层,其中,所述第一下SiN波导和所述第二下SiN波导分别在所述第三竖直锥形部和所述第四竖直锥形部之后终止。

12. 根据权利要求9所述的扇出中介层,其中,所述第一上SiN波导和所述第一下SiN波导以及所述第二上SiN波导和所述第二下SiN波导在所述第一横向弯曲部和所述第二横向弯曲部之前具有100微米的第一横向间距,并且在所述第一横向弯曲部和所述第二横向弯曲部之后具有250微米的第二横向间距。

13. 根据权利要求9所述的扇出中介层,其中,所述第一竖直锥形部和所述第二竖直锥形部的厚度分别沿着所述第一竖直锥形部的长度和所述第二竖直锥形部的长度从20纳米竖直地增加至250纳米。

14. 根据权利要求9所述的扇出中介层,其中,所述第一上SiN波导和所述第一下SiN波导竖直地分开200纳米的距离。

15. 一种方法,包括:

形成包括第一氮化硅(SiN)波导和第二氮化硅(SiN)波导的第一波导堆叠,其中,所述第一SiN波导包括第一竖直锥形部,所述第一竖直锥形部在朝向被配置用于耦合至光子集成电路(PIC)上的第一波导的表面的方向上具有增加的厚度,所述第一波导堆叠包括第一横向弯曲部;

形成包括第三SiN波导和第四SiN波导的第二波导堆叠,其中,所述第三SiN波导包括第一竖直锥形部,所述第一竖直锥形部在朝向被配置用于耦合至光子集成电路(PIC)上的第二波导的表面的方向上具有增加的厚度,所述第二波导堆叠包括第二横向弯曲部;以及

相对于所述第一波导堆叠和所述第二波导堆叠,使所述第一横向弯曲部和所述第二横向弯曲部分开。

16. 根据权利要求15所述的方法,

其中,形成所述第一波导堆叠包括:在所述第一SiN波导中形成在离开被配置用于耦合至所述PIC的表面的方向上具有减小的厚度的第二竖直锥形部,所述减小的厚度引起所述第一SiN波导与所述第二SiN波导之间的绝热光耦合,并且

其中,形成所述第二波导堆叠包括:在所述第三SiN波导中形成在离开被配置用于耦合至所述PIC的表面的方向上具有减小的厚度的第二竖直锥形部,所述减小的厚度引起所述第三SiN波导与所述第四SiN波导之间的绝热光耦合。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中,所述第一SiN波导和所述第三SiN波导在厚度减小之后终止。

18. 根据权利要求15所述的方法,其中,形成所述第一波导堆叠和形成所述第二波导堆叠还包括:将所述第一波导堆叠和所述第二波导堆叠形成为从100微米的第一间距分开至250微米的第二间距。

19. 根据权利要求15所述的方法,还包括:将所述第一SiN波导和所述第三SiN波导从所述第一竖直锥形部中的每一个第一竖直锥形部的第一端处的20纳米的第一厚度竖直锥化至所述第一竖直锥形部中的每一个第一竖直锥形部的第二端处的250纳米的第二厚度。

20. 根据权利要求15所述的方法,还包括:将所述第一波导堆叠和所述第二波导堆叠从100微米的第一间距分开至250微米的第二间距。

具有扇出中介层的绝热耦合光子系统

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2018年4月4日提交的美国临时申请第62/652,467号的权益和优先权。申请62/652,467通过引用并入本文。

技术领域

[0003] 本文所讨论的实施方式涉及绝热耦合光子系统。

背景技术

[0004] 除非本文另外指出,否则本文所描述的材料不是本申请中的权利要求的现有技术,并且不会由于包括在本部分中而被认为是现有技术。

[0005] 一种将光耦合入或耦合出硅(Si)光子集成电路(PIC)的常见解决方案包括平面耦合器或边缘耦合器。PIC可以具有多个并行信号以增加带宽。并行信号间距可能不利于与多个传输元件例如单模光纤(SMF)直接耦合。

[0006] 本文要求保护的主体不限于解决任何缺点的实现方式或者仅在诸如上述环境的环境中操作的实现方式。确切地,该背景仅被提供以用于说明可以实践本文描述的一些实现方式的一个示例技术领域。

发明内容

[0007] 提供本发明内容是为了以简化形式介绍将在下面的详细描述中进一步描述的一系列构思。本发明内容既不旨在标识所要求保护的主体关键特征或必要特征,也不旨在用于帮助确定所要求保护的主体范围。

[0008] 在示例实施方式中,光子系统可以包括PIC和中介层(interposer)。PIC可以包括第一氮化硅(SiN)波导。中介层可以包括在第一波导堆叠的交叠区域中与第一SiN波导基本上竖直对准的第二SiN波导和第三SiN波导。交叠区域可以包括第一波导堆叠中的该第一波导、该第二波导和该第三波导。在交叠区域内,第二SiN波导可以包括竖直锥形部,以用于在第一SiN波导与第二SiN波导之间进行绝热光模式转移,该竖直锥形部在朝向第一SiN波导的方向上将第二SiN波导的厚度从初始厚度增加至增加的厚度。第一波导堆叠还可以包括非交叠区域,在该非交叠区域中,中介层不与PIC交叠。非交叠区域可以包括第二SiN波导和第三SiN波导。在非交叠区域内,第二SiN波导可以保持所述增加的厚度,并且第二SiN波导和第三SiN波导可以包括第一横向弯曲部。

[0009] 在另一示例实施方式中,扇出(fan-out)中介层可以包括第一上SiN波导和第一下SiN波导以及第二上SiN波导和第二下SiN波导。第一下SiN波导可以平行于第一上SiN波导延伸并且可以被移位在第一上SiN波导下方。第二下SiN波导可以平行于第二上SiN波导延伸并且可以被移位在第二上SiN波导下方。第一下SiN波导可以包括第一竖直锥形部,该第一竖直锥形部的厚度沿着第一竖直锥形部的长度离开第一上SiN波导而竖直地增加。第一上SiN波导和第一下SiN波导可以包括第一横向弯曲部。第二下SiN波导可以包括第二竖直

锥形部,该第二竖直锥形部的厚度沿着第二竖直锥形部的长度离开第二上SiN波导而竖直地增加。第二上SiN波导和第二下SiN波导可以包括第二横向弯曲部。第一横向弯曲部和第二横向弯曲部可以使第一上SiN波导和第一下SiN波导与第二上SiN波导和第二下SiN波导横向地分开(diverge)。

[0010] 在另一示例实施方式中,一种方法可以包括形成包括第一SiN波导和第二SiN波导的第一波导堆叠。第一SiN波导可以包括在朝向被配置用于耦合至PIC上的第一波导的表面的方向上具有增加的厚度的第一竖直锥形部。第一波导堆叠可以包括第一横向弯曲部。该方法还可以包括形成包括第三SiN波导和第四SiN波导的第二波导堆叠。第三SiN波导可以包括在朝向被配置用于耦合至PIC上的第二波导的表面的方向上具有增加的厚度的第一竖直锥形部。第二波导堆叠可以包括第二横向弯曲部。该方法还可以包括:相对于第一波导堆叠和第二波导堆叠,使第一横向弯曲部和第二横向弯曲部分开。

[0011] 本发明的另外的特征和优点将在下面的描述中阐述,并且部分地根据该描述将会是明显的或者可以通过实践本发明来获知。借助于所附权利要求中特别指出的仪器和组合,可以实现和获得本发明的特征和优点。根据以下描述和所附权利要求书,本发明的这些和其他特征将变得更加明显,或者可以通过如下文中所阐述的本发明的实践来获知。

附图说明

[0012] 为了进一步阐明本发明的上述和其他优点和特征,将通过参照在附图中示出的本发明的具体实施方式来呈现对本发明的更具体的描述。应当理解,这些附图仅描绘了本发明的典型实施方式,并且因此不被认为是对其范围的限制。将通过使用附图用附加的特征和细节来描述和解释本发明。

[0013] 图1A是示例光电系统(以下称为“系统”)的立体图。

[0014] 图1B是图1A的示例系统的扇出中介层和PIC的顶视图。

[0015] 图2是图1的示例两级绝热耦合光子系统(以下称为“光子系统”)的侧视图。

[0016] 图3A至图3G包括图1和图2中的光子系统的各部分的各种视图。

[0017] 图4包括中介层波导带中的模拟光模式的图形表示。

[0018] 图5A至图5B示出了与波导的锥形部中出现的有效折射率和模式有关的图。

[0019] 图6示出了与系统中的波导的锥形部长度和耦合效率有关的图。

[0020] 图7示出了系统中第一SiN波导的末端尺寸相对于与第二SiN波导的耦合损耗的影响。

[0021] 图8是形成扇出中介层以将光信号从PIC耦合至SMF的方法的流程图。

具体实施方式

[0022] 本文所描述的一些实施方式总体上涉及光从硅(Si)波导到中间氮化硅(Si_xN_y ,在本文中通常称为SiN)波导并且然后从SiN波导到中介层波导(例如,SiN、聚合物或高折射率玻璃波导)的绝热耦合,或者光从中介层波导到SiN波导并且然后从SiN波导到硅(Si)波导的绝热耦合。为了便于在下面的讨论中参考,通常在单个Si波导至SiN波导至中介层波导耦合的背景下讨论绝热耦合,但是应当理解,在给定系统中可以包括多个这样的耦合。此外,多个这样的耦合或多个波导堆叠可以被配置用于光信号的并行转移。此外,多个波导堆叠

可能必须在间距上扇出以适应与较大尺寸的接口的耦合,例如用于与SMF耦合。

[0023] Si波导可以具有第一光模式尺寸,第一SiN波导可以具有基本上大于第一光模式尺寸的第二光模式尺寸,并且中介层波导可以具有基本上大于第二光模式尺寸的第三光模式尺寸。例如,第一光模式尺寸可以为约 $0.3\mu\text{m}$,或者在 $0.25\mu\text{m}$ 至 $0.5\mu\text{m}$ 的范围内;第二光模式尺寸可以为约 $1\mu\text{m}$,或者在 $0.7\mu\text{m}$ 至 $3\mu\text{m}$ 的范围内;并且第三光模式尺寸可以为约 $10\mu\text{m}$,或者在 $8\mu\text{m}$ 至 $12\mu\text{m}$ 的范围内。第三光模式尺寸可以基本上类似于标准的单模光纤的光模式尺寸。例如,标准的单模光纤可以具有基本上类似于第三光模式尺寸的约 $10\mu\text{m}$ 的光模式尺寸。

[0024] Si波导可以被倒锥化至约80纳米(nm)的宽度以增加光模式的尺寸并将其带入Si波导的包层中。第一SiN波导可以被制造在包括Si波导的Si光子集成电路(PIC)上。第一SiN波导可以接收来自Si倒锥形部的光。与Si波导类似,第一SiN波导可以被倒锥化至80nm至300nm的宽度。中介层可以具有包括第二SiN波导和第三SiN波导的多个中介层波导,第二SiN波导和第三SiN波导中的一者或两者可以具有大约 $1\mu\text{m}$ 的芯。中介层的第二SiN波导和/或第三SiN波导可以被放置成与第一SiN波导紧密光学接触。

[0025] 来自Si波导倒锥形部的光可以沿着传播方向被逐步绝热耦合至第一SiN波导并且然后绝热耦合至包括第二SiN波导和第三SiN波导的中介层,并且可以被完全地或基本上完全地迁移(translate)至该中介层。可以在单独的刚性或柔性基底上对中介层波导进行处理,并且可以利用包括热机械附接的各种技术或者通过使用折射率匹配的粘合剂将中介层波导附接至第一SiN波导。

[0026] Si PIC可以包括Si基底上的绝缘体上Si(例如,二氧化硅(SiO_2)埋氧化层(box layer)上的硅)中的调制器、波导、检测器、耦合器和其他光学部件。集成电路(IC)可以倒装(例如,通过铜柱)结合于Si PIC上,在Si PIC的离开第一SiN波导以及具有第二SiN波导和第三SiN波导的扇出中介层可以位于的耦合区域的部分中。中介层波导可以被包括在扇出中介层中,该扇出中介层可以是透明的和/或可以具有对准标记和/或结构以使得能够容易地将Si PIC上的第一SiN波导与扇出中介层上的中介层波导光学对准。包括第二SiN波导和第三SiN波导的中介层波导与第一SiN波导可以主动对准或被动对准。

[0027] 可以在Si PIC的制造过程中限定第一SiN波导,其中在Si PIC的制造过程中添加SiN/ SiO_2 层部分以用于耦合和无源功能。标准的Si光子堆叠层具有Si基底、 SiO_2 氧化物层(称为埋氧化层(BOX)或 SiO_2 埋氧化层)以及Si波导层,其中Si波导在一个或更多个侧上被 SiO_2 包层包围以限制光。本文描述的实施方式可以向该标准堆叠添加第一SiN层以用于两级耦合以及可选地无源光学功能。第一SiN层具有在一个或更多个侧上由 SiO_2 包层包围以限制光的SiN芯波导的区域。SiN具有介于Si的折射率与聚合物的折射率之间的中间折射率,并因此能够实现锥形部宽度处于某些标准互补金属氧化物半导体(CMOS)晶圆厂的关键尺寸内的两个层之间的有效的绝热耦合。SiN的低损耗以及与Si和 SiO_2 相比的SiN相对于 SiO_2 包层的较低的芯/包层折射率的差使得可以制造性能更好的无源部件。例如,SiN中的波分复用器(WDM mux)和解复用器(WDM demux)比Si中的波分复用器和解复用器具有更高的通道隔离。另外,SiN中的无源部件的峰波长随温度的漂移比Si中的无源部件的峰波长随温度的漂移小5倍。

[0028] 在一些实施方式中,Si PIC上的发射(TX)Si波导和接收(RX)Si波导可以在一个平面中,或者可以在Si PIC的一个平面接口处访问,而用于平行单模光纤的MT连接器可以具

有通过多源协议 (MSA) 进行的配置,其中TX阵列位于一行并且RX阵列位于TX阵列下方的一行。TX和RX还可以在同一行中但彼此分开。本文描述的实施方式包括扇出中介层,该扇出中介层可以从Si PIC的平面中的第一SiN波导输入/输出连接,并向例如MT连接器呈现竖直分开的两行输入/输出。

[0029] 在一些实施方式中,波分复用或其他无源光学功能可以集成在形成有第一SiN波导的第一SiN/SiO₂层中。与在其他层和/或材料中实现这样的光学功能相比,使用SiN/SiO₂层可以是有利的,这是因为:由于SiN的损耗较低且芯与包层之间的折射率差较小,所以SiN/SiO₂层可以提供较低的损耗、更好的通道隔离。

[0030] 本文描述的一些实施方式在一定操作范围内可以与波长无关。例如,本文描述的一些实施方式在1310nm标准长距离 (LR) 标准的操作范围内可以与波长无关,而表面光栅耦合器可以具有相对窄的20nm至30nm的通带。

[0031] 在一些实施方式中,从Si波导传播到第一SiN波导并传播到包括第二SiN波导和第三SiN波导的中介层的光可以从Si波导向下到达第一SiN波导并且然后向上进入包括第二SiN波导和第三SiN波导的扇出中介层,随后在扇出中介层处光可以被耦入光纤等,或者光可以在相反的路径上传播。在这些实施方式和其他实施方式中,中介层波导可以包括具有类似的接近1.5的包层折射率的SiN波导、聚合物波导或高折射率玻璃波导。

[0032] 在随后的讨论中,公开了许多实施方式。除非上下文另外指出,否则各个实施方式不是互相排斥的。例如,除非上下文另外指出,否则一个或更多个实施方式的一部分或全部可以与一个或更多个其他实施方式的一部分或全部组合。

[0033] 现在将参照附图来描述本发明的示例实施方式的各个方面。应当理解,附图是这样的示例实施方式的图解性和示意性表示,并且不对本发明进行限制,它们也不一定按比例绘制。

[0034] 图1A是根据本文所描述的至少一个实施方式布置的示例光电系统100 (以下称为“系统100”)的立体图。如所示出的,系统100包括Si PIC102、扇出中介层104、三维 (3D) 堆叠区域106和倒装结合的集成电路 (IC) 108。Si PIC 102和扇出中介层104一起形成两级绝热耦合光子系统200 (在下文中称为“光子系统200”)。

[0035] 通常,Si PIC 102可以包括绝缘体上硅基底中的一个或更多个光学元件,例如调制器、波导、耦合器或其他光学元件。

[0036] 通常,3D堆叠区域106可以提供至Si PIC 102中的一个或更多个有源光学部件的电连接。因此,3D堆叠区域106可以包括例如金属化柱、迹线和/或触点以及绝缘电介质和/或其他材料和元件。

[0037] 通常,倒装结合的IC 108可以包括一个或更多个有源和/或无源电子器件,这些有源和/或无源电子器件可以通过3D堆叠区域106通信地耦合至Si PIC 102的一个或更多个有源光学部件。

[0038] 扇出中介层104可以机械地耦合至Si PIC 102,或者可以使用层沉积来将中介层104与Si PIC 102整体地形成。扇出中介层104的扇出中介层SiN波导以及Si PIC 102的SiN波导和Si波导可以被配置成将光绝热地耦入Si PIC 102或者从Si PIC 102中耦出。如本文所使用的,在过渡交互作用区域——在本文中有时称为绝热耦合器区域——中,光可以被从一个光学部件或器件 (本文中称为“初始状态”波导) 绝热耦合至另一光学部件或器件 (本

文中称为最终状态波导)。

[0039] 扇出中介层104与Si PIC 102的机械对准可以包括形成在例如扇出中介层104上的对准舌状件110以及/或者由对准舌状件110来促进,该对准舌状件容纳在例如形成于Si PIC 102中的凹槽112中。通过例如在扇出中介层104中形成挡件114以限制纵向放置,可以提供进一步的机械对准。虽然在扇出中介层104和Si PIC 102中的具体一者上示出了舌状件、凹槽以及挡件,但是也可以设想,布置可以颠倒或以其他方式放置以实现扇出中介层104与Si PIC 102的对准。此外,还可以设想排除或包括本文所讨论的机械对准的通过结合进行的保持。

[0040] 为了将光功率从初始状态波导转移至最终状态波导,初始状态波导和最终状态波导之一或两者的一个或更多个光学特性例如宽度、高度、有效折射率等沿光轴变化。在本文中,初始状态波导和最终状态波导在过渡交互作用区域内形成一个系统,并且在物理上从初始状态波导转移至最终状态波导时,光依然处于联合系统的单模式下。初始状态波导和最终状态波导可以分别对应于Si波导和SiN波导,反之,初始状态波导和最终状态波导可以分别对应于SiN波导和Si波导。可替代地或另外地,初始状态波导和最终状态波导可以分别对应于SiN波导和中介层波导,反之,初始状态波导和最终状态波导可以分别对应于中介层波导和SiN波导。可替代地或另外地,当两个部件如本文所描述地被配置成形成绝热耦合器区域时,这两个部件可以说是绝热耦合在一起或者彼此绝热耦合。

[0041] 此外,在本文中光通常用于指任何合适波长的电磁辐射,并且光可以包括波长为例如约800nm至900nm、1200nm至1360nm、1360nm至1460nm、1530nm至1565nm或其他合适的波长的光。光也可以具有TE和/或TM偏振。

[0042] 在这些实施方式和其他实施方式中,Si PIC 102中的SiN波导可以与扇出中介层104中的中介层波导对准并光耦合至扇出中介层104中的中介层波导。另外,扇出中介层104中的中介层波导可以与Si PIC 102中的SiN波导对准并光耦合至Si PIC 102中的SiN波导。Si波导可以具有第一折射率 n_1 。SiN波导可以具有第二折射率 n_2 。扇出中介层波导可以具有第三折射率 n_3 。通常,SiN波导的第二折射率 n_2 可以在Si波导的第一折射率 n_1 与扇出中介层波导的第三折射率 n_3 之间。另外, $n_1 > n_2 > n_3$ 。在一些实施方式中,对于具有三个波导的两级绝热耦合光子系统,每个波导具有折射率 n_1 、 n_2 、 n_3 中相对应的一个,第一折射率 n_1 可以在3至3.5的范围内,第二折射率 n_2 可以在1.8至2.2的范围内,并且第三折射率 n_3 可以在1.49至1.6的范围内。

[0043] 扇出中介层104中的中介层波导可以另外或替代地与用于一个或更多个光信号的输入和/或输出对准并且光耦合至一个或更多个光信号的输入和/或输出。示例输入源可以包括光信号源(例如,激光器)、光纤、光纤端部连接器、透镜或其他光学部件或器件,传入光信号(例如,朝向Si PIC 102传入的信号)被从这些示例输入源提供至扇出中介层104以用于输入至Si PIC 102。输出可以被发送至的示例输出器件可以包括激光器、光接收器(例如,光电二极管)、光纤、光纤端部连接器、透镜或其他光学部件或器件,传出信号(例如,离开Si PIC 102的信号)可以通过扇出中介层104被提供至这些示例输出器件。Si PIC 102的一个或更多个有源光学部件可以生成传出信号,或者可以是通过Si波导、SiN波导和中介层波导从光子系统200输出的传出信号的源。可替代地或另外地,Si PIC 102的一个或更多个有源光学部件可以被配置成接收和处理通过中介层波导、SiN波导和Si波导输入至光子系

统200的传入信号。

[0044] 图1B是根据本文描述的至少一个实施方式布置的图1A的示例系统100的扇出中介层104和PIC 102的顶视图。光子系统200包括Si PIC 102和扇出中介层104以扇出多个光信号。作为示例,Si PIC 102可以包括用于与扇出中介层104交叠的宽度约为8mm的端部。多个第三SiN波导120A至120N被示出为:从与Si PIC 102的接口处的较小间距扇出至退离扇出中介层104的接口处的较大间距。中介层104可以另外包括大体上可以在第三波导120下方延伸并且因此在图1B中不可见的第二SiN波导。第三SiN波导120A至120N被图示为穿过区域130、区域132和区域134。作为示例,区域130可以是PIC 102与扇出中介层104之间的交叠区域,并且可以具有约3mm的长度,而区域132和区域134中的每一个可以具有约1mm的长度。区域132和区域134可以形成其中PIC 102和扇出中介层104在例如光传播方向上不交叠的非交叠区域。

[0045] 总体上并且如下面更详细描述,在区域130中形成为Si PIC 102的一部分的第一SiN波导(图1B中未示出)被分别绝热地耦合至扇出中介层104的第二SiN波导。区域132中的第二SiN波导可以形成为高对比波导,该高对比波导适应第二SiN波导的弯曲,而没有光信号的过度色散。在区域134中,第二SiN波导可以经受第二SiN波导的竖直锥化,从而导致将各个光信号绝热耦合至第三SiN波导120。然后,第三SiN波导120可以光耦合至相应单模光纤(图1B中未示出)。

[0046] 区域130中的SiN波导120的间距可以为约100 μ m的量级。在区域132中的第三SiN波导120扇出之后,区域134中的SiN波导120的间距可以是大约250 μ m的量级。

[0047] 虽然本文所描述的间距提供了具体的值和/或范围,但是波导间距可随具体的设计而变化。由于高对比(增加的厚度)波导,所公开的实施方式使得能够针对特定目的而视需要限定间距。虽然可以优选窄的波导的间距以使PIC中的覆盖区(footprint)最小化,但是更大的间距例如250 μ m可以用于与工业标准光纤规范耦合。

[0048] 作为示例,SiN波导120可以被配置为包括十二个光纤通道和两个激光通道的14通道接口。扇出中介层104可以具有约8mm宽乘5mm长的尺寸,其中在长度上扇出中介层104中的约3mm与Si PIC 102交叠。此外,扇出中介层104可以倒装结合至Si PIC 102,并且扇出中介层104可以部分蚀刻以提供上述挡件114。此外,扇出中介层104可以形成为包括舌状件110,并且Si PIC 102可以形成为包括凹槽112,如上所述。

[0049] 图1B还示出了用于标识下面针对图2和图3A至图3G说明的各种截面图的各种参考线1至7。虽然图1B示出了多个SiN波导120,但为简单起见,图2和图3A至图3G的截面图均限于单个波导堆叠。

[0050] 图2是根据本文所描述的至少一个实施方式布置的图1A的光子系统200的侧视图。光子系统200包括Si PIC 102和扇出中介层104。图2另外示出了3D堆叠区域106。

[0051] Si PIC 102包括:Si基底202、SiO₂埋氧化层204、包括一个或更多个SiN波导208的第一层206以及包括一个或更多个Si波导212的第二层210。在示出的实施方式中,第一层206和第二层210均形成在SiO₂埋氧化层204的上方。特别地,第一层206形成在第二层210上(或至少在第二层210上方),并且第二层210形成在SiO₂埋氧化层204上(或至少在SiO₂埋氧化层204上方)。可替选地或另外地,可以在第一层206与第二层210之间,至少在Si波导212被光耦合至第一SiN波导208的区域中形成SiN板(slab) 214。在示例实施方式中,第一SiN波

导208包括 Si_3N_4 作为波导芯,该波导芯沿着其长度在至少两侧被 SiO_2 或其他合适的波导包层所围绕。

[0052] 尽管在图2中未示出,但是Si PIC 102还可以包括形成在第二层210中的一个或更多个有源光学部件。在这些实施方式和其他实施方式中,Si PIC 102还可以包括形成在第二层210上和/或上方的一个或更多个电介质层216以及形成在电介质层216中的一个或更多个金属化结构218。金属化结构218可以从Si PIC 102的顶部延伸穿过电介质层216,以与在Si PIC102中的第二层210或其他地方中形成的有源光学部件电接触。电介质层216可以包括 SiO_2 或其他合适的电介质材料。电介质层216和金属化结构218总体是3D堆叠区域106的示例。

[0053] 结合参照图1A和图2,倒装结合的IC 108可以被倒装结合至3D堆叠区域106。倒装结合的IC 108可以包括一个或更多个有源和/或无源电子器件,这些有源和/或无源电子器件可以通过3D堆叠区域106通信地耦合至形成在Si PIC 102的第二层210中的一个或更多个有源光学部件。

[0054] 扇出中介层104可以包括波导带222,波导带222包括一个或更多个扇出中介层波导224。每个波导带222包括:在本文中被标识为第二SiN波导224A的第一中介层芯波导;具有与第二SiN波导224A的折射率不同的折射率的中介层包层225;以及在本文中被标识为第三SiN波导224B的第二中介层芯波导。第二SiN波导224A可以包括关于图1B讨论的第二SiN波导中的任一个,对应于关于图1B讨论的第二SiN波导中的任一个,或者被包括在关于图1B讨论的第二SiN波导中的任一个中。第三SiN波导224B可以包括关于图1B讨论的第三SiN波导120中的任一个,对应于关于图1B讨论的第三SiN波导120中的任一个,或者被包括在关于图1B讨论的第三SiN波导120中的任一个中。扇出中介层的第二SiN波导224A的耦合器部分可以被布置在第一层206中的第一SiN波导208的横向锥形端上方,并且可以与第一SiN波导208的横向锥形端对准,如下面将更详细地描述的。

[0055] 本文所描述的每个波导可以包括波导芯和在波导芯的一个或更多个侧上的包层。除非上下文另外指出,否则本文描述的各种波导的许多结构和参数特别地适用于和/或涉及对应的波导芯。举例来说,第一SiN波导208可以具有如上文已描述的横向锥形端,这意味着第一SiN波导208可以具有例如SiN的波导芯,其中,该波导芯具有横向锥形端。

[0056] Si波导212(或更具体地,Si波导212的芯)可以具有以上提及的第一折射率 n_1 。SiN波导208(或更具体地,SiN波导208的芯)可以具有以上提及的第二折射率 n_2 。扇出中介层波导带222(或更具体地,第二SiN波导224A和第三SiN波导224B)可以具有以上提及的第三折射率 n_3 ,其中 $n_1 > n_2 > n_3$ 。图2中的中介层104与Si PIC 102的空间分离说明了分离的功能实体,因为在至少一个实施方式中,可以使用例如沉积工艺将中介层104直接形成在Si PIC 102上。

[0057] 图3A至图3G包括根据本文所描述的至少一个实施方式布置的图2的光子系统200的部分的各种视图。特别地,图3A包括俯视图300A和纵向截面图300B,并且图3B包括在分别由图1B和图3A中的参考线1至参考线7表示的一些位置处的侧向截面图300C至300H。虽然图3A至图3G示出了单个波导带,然而图1B中示出的多个平行波导带是可以预期的。平行波导带中的每一个是根据图3A至图3G类似地配置的。

[0058] 根据在图3A中的视图300A至300B中的每一个视图中以及在本文的其他附图中提

供的任意定义的x-y-z坐标轴,图3A中的俯视图300A示出了各个部件相对于彼此的相对x轴对准和z轴对准。由于所有视图300C至300H具有相同的取向,因此针对图3B至图3G的所有视图300C至300H提供x-y-z坐标轴的单个实例。x方向有时可以被称为横向方向或侧向方向,并且诸如宽度、横向的、侧向的、侧、侧向等的术语可以用于指例如尺寸、相对位置和/或沿x方向的移动,除非上下文另有规定。y方向有时可以被称为竖直方向,并且诸如高度、厚度、竖直的、竖直地、上方、下方、上、下等的术语可以用于指例如尺寸、相对位置和/或沿y方向的移动,除非上下文另有规定。z方向有时可以被称为纵向方向或光传播方向,并且诸如长度、纵向的、上游、下游、向前、向后、前、后等的术语可以用于指例如尺寸、相对位置和/或沿z方向的移动,除非上下文另外规定。

[0059] 图3A中的纵向截面图300B示出了针对各种部件的示例材料堆叠。图3A中的俯视图300A包括材料堆叠中的不同层级处的各个部件的轮廓或覆盖区,当从上方观察时,这些部件可能不一定可见,但是被示出为轮廓或覆盖区以图示各个部件相对于彼此的x对准和z对准。

[0060] 图3A中的俯视图300A中示出的图2的光子系统200的部分包括Si波导212的锥形端。Si波导212的锥形端在参考线1处的宽度比在参考线2处的宽度相对更宽。Si波导212的锥形端可以被认为具有锥形部或倒锥形部,它们在结构上是等效的。如本文中所使用的,波导例如图3A中的Si波导212可以被认为相对于传出光信号——例如,在波导的相对较宽的部分处进入波导并朝向波导的相对较窄的部分传播通过该波导的光信号——具有锥形部。相比之下,波导例如图3A中的Si波导212可以被认为相对于传入光信号——例如,沿从较窄到较宽的方向传播通过该波导以离开该波导的光信号——具有倒锥形部。为了简化随后的讨论,术语“锥形部”及其变形应该广泛地理解为波导宽度沿光轴的变化。在一些实施方式中,沿光轴线性地或非线性地或者以线性和非线性分段变化的方式来改变波导的宽度可能是有利的。可以改变初始状态波导和最终状态波导的相互作用区域周围的锥形部的宽度以优化耦合或减小耦合区域的长度以产生物理上较小的器件。

[0061] 包括锥形端的Si波导212可以形成在第二层210中并且被定位在包括第一SiN波导208的第一层206下方。例如,第二层210可以被定位在SiN板214下方, SiN板214又被定位在第一层206下方。如在图3B的视图300C中所示出的,在第二层210内, SiO₂通常可以与Si波导212的(例如,在正x和负x方向上的)侧邻近地布置,以形成用作芯的Si波导212的包层。在一些实施方式中, Si PIC 102的Si波导212和/或其他Si波导可以具有(例如,在y方向上)近似0.3 μ m的厚度 t_{Si} 和约3.4的折射率。本文所提供的折射率、厚度、宽度、长度的具体值以及其他值仅以示例的方式提供,并且除明确说明的值外的值仍可能落入所描述的实施方式的范围。

[0062] 如图3A所示, SiN板214可以形成在或以其他方式位于包括Si波导212的第二层210上。在一些实施方式中, SiN板214可以具有(例如,在y方向上)近似0nm至50nm的厚度。

[0063] 图3A中的视图300B还示出了第一SiN波导208。第一SiN波导208包括耦合器部分和锥形端两者。第一SiN波导208的耦合器部分通常包括第一SiN波导208的在参考线1与参考线3之间的部分,并且第一SiN波导208的锥形端通常包括第一SiN波导208的在参考线4与参考线5之间的部分。第一SiN波导208的锥形端在参考线4处的宽度比在参考线5处的宽度相对更宽。

[0064] 在第一层206内, SiO_2 通常可以与第一SiN波导208的(例如,在正x和负x方向上的)侧邻近地布置以用作第一SiN波导208的包层,如在图3B的视图300C至图3E的视图300F中所示出的。在一些实施方式中,第一层206的第一SiN波导208和/或其他SiN波导可以具有(例如,在z方向上)近似 $0.5\mu\text{m}$ 至 $1\mu\text{m}$ 的厚度和约1.99的折射率。

[0065] 波导带222可以具有高对比,例如在参考线5至参考线6之间和/或在沿其长度的其他位置可以具有高对比。波导带222在参考线5与参考线6之间的高对比使得包括第二SiN波导224A和第三SiN波导224B的波导带222能够形成为如图1B所示的扇出配置。包括具有增加的厚度的第三SiN波导224B的高对比波导带222使得能够形成具有紧弯曲的波导带,而没有如在低对比波导带中发生的光信号的光色散(dispersion)。

[0066] 从图3A可以看出,尽管第一SiN波导208在y方向上相对于Si波导212移位,但是Si波导212的锥形端可以在x方向和z方向上与第一SiN波导208的耦合器部分(基本上在参考线1与参考线2之间)对准,使得Si波导212的锥形端在x方向和z方向上建立SiN波导208的耦合器部分(如在视图300A中所看到的),并且与其平行(如在视图300B中所看到的)。

[0067] 图3A另外示出了中介层波导带222。中介层波导带222包括第二SiN波导224A、包层225和第三SiN波导224B。另外,第二SiN波导224A包括:第一竖直锥形部分(基本上在参考线2与参考线4之间)、高对比耦合器部分(基本上在参考线4与参考线6之间)、第二竖直锥形部分(基本上在参考线6与参考线7之间)以及低对比的光纤耦合器部分(基本上延伸超过参考线7)。

[0068] 光子系统200包括通常位于参考线1左侧的第一光模式部分,在第一光模式部分中,光信号在Si波导212中通过光模式传播。光子系统200包括Si PIC 102中通常位于参考线1与参考线2之间的第一耦合器部分,在第一耦合器部分中,Si波导212中的光信号的光模式被转移至第一SiN波导208。光子系统200包括通常位于参考线4与参考线5之间的第二耦合器部分,在第二耦合器部分中,第一SiN波导208中的光信号的光模式被转移至中介层104中的第二SiN波导224A。光子系统200还包括通常位于参考线5与参考线7之间的第二光模式部分,在第二光模式部分中,光信号以光模式传播。光子系统200还包括通常位于参考线7与参考线8之间的第三耦合器部分,在第三耦合器部分中,光信号在第二SiN波导224A和第三SiN波导224B两者中被转换为光纤模式。

[0069] 中介层波导带222包括中介层波导224A和224B,并且通常包括中介层波导224A和224B的在参考线1与参考线8之间的部分,并且可以离开耦合器部分延伸(例如,至图3A的右侧)。中介层波导224A和224B可以形成并因此与潜在的一个或多个其他中介层波导一起耦合至图2的Si PIC 102。在一些实施方式中,中介层波导224A可以具有(例如,在y方向上)在例如20nm至250nm之间变化的厚度 t_{224A} ,并且中介层芯224A的折射率为约1.986且中介层包层225的折射率为约1.446。中介层波导224B可以具有(例如,在y方向上)例如为20nm的厚度 t_{224B} ,并且中介层芯224B的折射率为约1.986且中介层包层225的折射率为约1.446。此外,中介层芯224A和224B的折射率比中介层包层225的折射率大,并且中介层芯224A和224B可以具有在1.50至1.65的范围内的有效折射率。有效折射率被定义为波导的折射率分布与光场的重叠积分(overlap integral)。考虑具有 SiO_2 包层的SiN波导。重要的是,由于光模式的较大部分与周围较低折射率的 SiO_2 交叠,因此,随着SiN波导宽度以锥形部减小,有效折射率降低。注意,中介层波导模式的有效折射率范围的下限是通过由SiN制造工艺提供的

最小锥形部末端宽度确定的,此处假定最小锥形部末端宽度为200nm的量级。例如,SiN波导的最小锥形部末端宽度可以是180nm。如果该工艺能够使得SiN的末端宽度较小,则相应地将能够使得中介层的折射率较低。这是因为,当SiN波导的有效折射率和中介层波导的有效折射率基本相同时,会发生绝热耦合过渡。减小SiN末端宽度会降低SiN波导的有效折射率,从而使得中介层的材料折射率较低。

[0070] 从图3A可以看出,尽管第二中介层波导224A和第三中介层波导224B在y方向上相对于第一SiN波导208移位,但是中介层SiN波导224A和224B的耦合器部分在x和z方向上仍然与第一SiN波导208的锥形端对准,使得中介层波导224A的耦合器部分与SiN波导208的锥形端交叠(如在视图300A中看到的)并且与其平行(如在视图300B中看到的)。

[0071] 图3B至图3G中的视图300C至300H分别描绘了Si波导212和SiN波导208、224A中的每一个的锥形端和SiN波导224B在图3A的参考线1至参考线7处的(例如,在x方向上的)宽度。例如,从视图300C可以看出,Si波导212的宽度从参考线1处的约0.32 μm 的宽度 w_{Si1} 锥化至图3A的参考线2处的约0.08 μm (或80nm)的宽度 w_{Si2} 。

[0072] 比较图3B的视图300C和300D,第二SiN波导224A的厚度在厚度上从参考线1(图3B)处的约20nm的厚度 t_{224A1} 倒锥化(即,竖直增加)至参考线(图3C)处的小于0.25 μm 的中间厚度 t_{224A3} 。此外,贯穿所有的视图300C至300H,第三SiN波导224B的厚度保持恒定为约20nm。贯穿所有的视图300C到300H,将第二SiN波导224A与第三SiN波导224B分开的氧化物SiO₂的厚度 t_{SiO2} 保持恒定为约1 μm 。

[0073] 此外,从视图300E和300F可以看出,第一SiN波导208的宽度从参考线4处的约1.0 μm 的宽度 w_{SiN1} 锥化至参考线5处的约0.20 μm (或200nm)的宽度 w_{SiN2} 。作为另一设计示例,在参考线4处宽度 w_{SiN1} 可以为约1.5 μm ,被锥化至参考线5处的约0.08 μm 的宽度 w_{SiN2} 。

[0074] Si波导212和SiN波导208的锥形端针对从Si波导212到第一SiN波导208以及从第一SiN波导208到第二SiN波导224A的光信号提供绝热过渡,或者针对沿相反方向传播的光信号提供绝热过渡。可以通过以足够慢的方式改变Si波导212和第一SiN波导208的锥形端的结构和/或有效折射率来实现绝热过渡,从而当入射到锥形端上时光不会从其模式散射,并且在离开该锥形端并进入第二SiN波导208或中介层上的第二SiN波导224A的耦合器部分时光以该相同的模式继续传播。即,光可以在Si波导212或第一SiN波导208的锥形端与第一SiN波导208或第二SiN波导224A的y轴移位且邻近的耦合器部分之间经历逐渐过渡,使得模式不会改变并且不会发生明显的光的散射。因此,与第一SiN波导208的耦合器部分结合的Si波导212的锥形端是绝热耦合器区域的示例。第一SiN波导208的锥形端和第二SiN波导224A的耦合器部分是绝热耦合器区域的另一示例。

[0075] 此外,从视图300G和300H可以看出,从线6到线7,第二SiN波导224A的厚度从参考线6处的约250nm的厚度 t_{224A6} 锥化至参考线7处的约20nm的厚度 t_{224A7} 。第二SiN波导224A和第三SiN波导224B由厚度 t_{SiO2} 为约1 μm 的SiO₂隔开。虽然厚度 t_{SiO2} 在本文被图示和描述为约1 μm ,但是不同的工艺也可以为 t_{SiO2} 限定不同的厚度,包括0.2 μm 的厚度。

[0076] 此外,根据视图300H,从延伸至图3G右侧的参考线7开始,第二SiN波导224A和第三SiN波导224B参与光耦合,使得SiN波导224A和224B参与从光模式到光纤模式的转换,以用于耦合至光纤例如单模光纤(SMF) 390。

[0077] 如图3A至图3G所示,第二SiN波导224A在厚度上锥化或变化。波导的这样的厚度变

化提供了较高折射率的中介层,这可以确保与Si PIC102的第一SiN波导208匹配的有效的有效折射率。此外,这样的变化波导外形改善了TM模式耦合性能。此外,针对Si波导212与第一SiN波导208之间的耦合以及第一SiN波导208与第二SiN波导224A之间的耦合需要绝热锥形部。这样的锥形部可以以有限的末端尺寸终止,该末端尺寸可以随工艺变化而改变。波导厚度的锥化和倒锥化更能耐受工艺变化。此外,波导的厚度调整可以进一步提供更好的热膨胀系数(CTE)。

[0078] 一种用于波导例如第二SiN波导224A的厚度锥化的技术可以使用以下技术来执行:所述技术的示例可以是LioniX的TriPleX™工艺。

[0079] 在操作中,光学介质的结构、折射率和/或其他特性可以确定光学介质的有效折射率。有效折射率在某种程度上类似于量子力学中的能级。较高的有效折射率类似于较低的能级。因此,对于具有不同有效折射率的两种邻近光学介质,光倾向于通过具有较高有效折射率的介质传播。

[0080] 在本文描述的实施方式中,并且特别参照图3A至图3G,Si波导通常可以具有比SiN波导的有效折射率高的有效折射率。通过锥化Si波导的端部,有效折射率可以沿着锥形端的长度减小,直至Si波导的有效折射率与y轴移位的SiN波导的有效折射率近似匹配或者Si波导的有效折射率甚至变得小于SiN波导的有效折射率,例如在图3A至图3G中示出的。因此,通过Si波导212传播并通过其锥形端离开的光可以离开Si波导212的锥形端,并在Si波导212的锥形端的有效折射率与第一SiN波导208的有效折射率匹配的点附近进入第一SiN波导208。类似地,第一SiN波导208可以在端部处锥化,直至其有效折射率近似匹配于或者甚至变得小于y轴移位的第二SiN波导224A的有效折射率,例如在图3A至图3G中示出的。因此,通过第一SiN波导208传播并通过其锥形端离开的光可以离开第一SiN波导208的锥形端,并在第一SiN波导208的锥形端的有效折射率与第二SiN波导224A的有效折射率匹配的点附近进入中介层104上的第二SiN波导224A。

[0081] 可能需要非常精细的尺寸以将光从Si波导直接地绝热耦合至聚合物(或其他材料)中介层波导。这样的精细尺寸对于某些晶圆厂/制造商而言可能无法实现并且/或者可能与这些晶圆厂/制造商的现有工艺不一致。另外,较小的Si波导通常比相对较大的Si波导具有较高的插入损耗,从而使它们不利。Si波导与聚合物中介层波导之间的绝热耦合长度可以在2mm的量级上,在该量级内这样的窄Si波导将引入不必要的光损耗。

[0082] 本文所描述的实施方式实现了两级绝热耦合,其中第一SiN波导具有处于Si波导的折射率与第二SiN波导的折射率之间的中间折射率,使得可以通过制造具有较大尺寸的SiN波导和/或其锥形端使Si波导的有效折射率与SiN波导的有效折射率匹配,所述较大尺寸可以由晶圆厂/制造商实现并且使得可以使用较大、较低损耗的SiN波导。此处,从Si波导到第一SiN波导的绝热耦合长度可以非常小,例如约50 μm 至200 μm 。在这种情况下,小的约80nm宽的Si波导的较高损耗不会引入显著损耗,并且该损耗显著小于如以上所描述的2mm内的较窄Si波导的损耗。第一SiN波导与第二SiN波导之间的绝热耦合器区域可以为约2mm,其中,与Si波导与中介层波导之间的直接绝热耦合相比,第二SiN波导相对于第一Si波导的更低损耗导致损耗更少。

[0083] 图4包括根据本文描述的至少一个实施方式布置的图3G的包括第二SiN波导224A和第三SiN波导224B的中介层波导带222中的TE和TM偏振光的模拟光模式的图形表示。图形

402示出了图3G的SMF 390与中介层波导带222之间的TE模式耦合。如所示出的,TE模式与SMF以约85%模式交叠耦合,这相当于近似0.7dB。此外,图形404示出了图3G的SMF 390与中介层波导带222之间的TM模式耦合。如所示出的,TM模式与SMF以约92%模式交叠耦合,这相当于近似0.36dB。

[0084] 图5A和图5B示出了根据本文所描述的至少一个实施方式布置的与图3A的参考线4和参考线5之间的波导的锥形部中出现的有效折射率和模式有关的图。模式分布图504示出了第二SiN波导224A中的模式,并且模式分布图506示出了第一SiN波导208中的模式。注意,第二SiN波导224A被示出为波导的截面图,而第一SiN波导208被示出为顶视图,以示出这两个波导的锥化关系。

[0085] 在图5A中,图形508示出了耦合区域510,其中,针对TE模式的有效折射率对于第一SiN波导208和第二SiN波导224A之间的渐逝(evanescence)耦合是兼容的。在图5B中,图形512示出了耦合区域514,其中,针对TM模式的有效折射率对于第一SiN波导208和第二SiN波导224A之间的渐逝耦合是兼容的。

[0086] 图6示出了根据本文所述的至少一个实施方式布置的与图1A的示例系统100中的波导的锥形部长度和耦合效率有关的图。每个锥形部的长度提供了耦合效率的进一步优化。通常,增加的锥形部长度可以提高针对各种模式的耦合效率。锥形部I涉及第二SiN波导224A的竖直锥形部,并且锥形部II涉及第一SiN波导208的水平(横向)锥形部。在图6所示的一个示例中,在第二SiN波导224A的锥形部I的长度近似为1.5mm且第一SiN波导208的锥形部II的长度近似为1mm的情况下,则TE模式的转换损耗近似为0.013dB且TM模式的转换损耗近似为0.04dB。此外,图6的图示出了大多数耦合相对于基本模式发生。

[0087] 图7示出了根据本文描述的至少一个实施方式布置的第一SiN波导208的末端尺寸关于与第二SiN波导224A的耦合损耗的影响。如所示出的,由于对于大至近似300nm的末端宽度耦合损耗仍可忽略不计,因此工艺不需要过高的精度来适应非常小的末端宽度。

[0088] 图8是根据本文描述的至少一个实施方式布置的用于形成扇出中介层以将光信号从PIC耦合至SMF的方法800的流程图。方法800包括步骤802,步骤802用于形成包括第一SiN波导和第二SiN波导的第一波导堆叠,其中,第一SiN波导包括在朝向被配置用于耦合至光子集成电路(PIC)上的第一波导的表面的方向上具有增加的厚度的第一竖直锥形部,第一波导堆叠包括第一横向弯曲部。

[0089] 方法800还包括步骤804,步骤804用于形成包括第三SiN波导和第四SiN波导的第二波导堆叠,其中,第三SiN波导包括在朝向被配置用于耦合至光子集成电路(PIC)上的第二波导的表面的方向上具有增加的厚度的第一竖直锥形部,第二波导堆叠包括第二横向弯曲部。

[0090] 方法800还包括步骤806,步骤806用于相对于第一波导堆叠和第二波导堆叠,使第一横向弯曲部和第二横向弯曲部分开。

[0091] 在本公开内容中并且特别是在所附权利要求(例如,所附权利要求的正文)中使用的术语通常旨在作为“开放式”术语(例如,术语“包括(including)”应当理解为“包括但不限于”,术语“具有”应当理解为“至少具有”,术语“包括(include)”应当理解为“包括但不限于”等)。

[0092] 另外地,如果意在表达特定数目的引入的权利要求叙述,则这样的意图将在权利

要求中明确记载,并且在没有这样的叙述的情况下,不存在这样的意图。例如,为帮助理解,所附权利要求书可以包含介绍性短语“至少一个”和“一个或更多个”的使用以引入权利要求叙述。然而,即使在同一权利要求包括介绍性短语“一个或更多个”或“至少一个”以及不定冠词例如“一个(a)”或“一(an)”时,这样的短语的使用也不应该被解释为暗示:通过不定冠词“一个”或“一”引入的权利要求叙述将包含这样的引入的权利要求叙述的任何特定权利要求限制于仅包含一个这样的叙述的实施方式(例如,“一个”和/或“一”应被解释为意指“至少一个”或“一个或更多个”);对于用于引入权利要求叙述的定冠词的使用,也是如此。

[0093] 此外,即使明确地记载了特定数量的引入的权利要求叙述,本领域技术人员也要认识到,这样的叙述应当被解释为至少意指所记载的数量(例如,没有其他修饰语的“两个叙述”的无修饰叙述意指至少两个叙述,或者两个或更多个叙述)。此外,在那些使用类似于“A、B和C等中的至少一个”或者“A、B和C等中的一个或更多个”的惯用语的情况下,通常这样的结构旨在包括单独的A、单独的B、单独的C、同时包括A和B、同时包括A和C、同时包括B和C或者同时包括A、B和C等。

[0094] 此外,呈现两个或更多个备选术语的任何分隔词或短语,不论在说明书、权利要求还是附图中,都应当被理解为考虑包括所述术语中的一个、所述术语中的任何一个、或者所有术语的可能性。例如,短语“A或B”应该被理解为包括“A”或“B”或“A和B”的可能性。

[0095] 关于在本文中对大体上任何复数和/或单数术语的使用,本领域技术人员可以根据对于上下文和/或应用适用的情况从复数转换为单数和/或从单数转换为复数。为了清楚起见,各种单数/复数置换可以在本文中明确地阐述。

[0096] 本发明可以在不脱离其精神或必要特征的情况下以其他特定形式来实施。所描述的实施方式在所有方面仅被认为是说明性的而不是限制性的。因此,本发明的范围由所附权利要求书而不是前面的描述指示。落入权利要求书的等同含义和等同范围内的所有变化被包含在权利要求书的范围内。

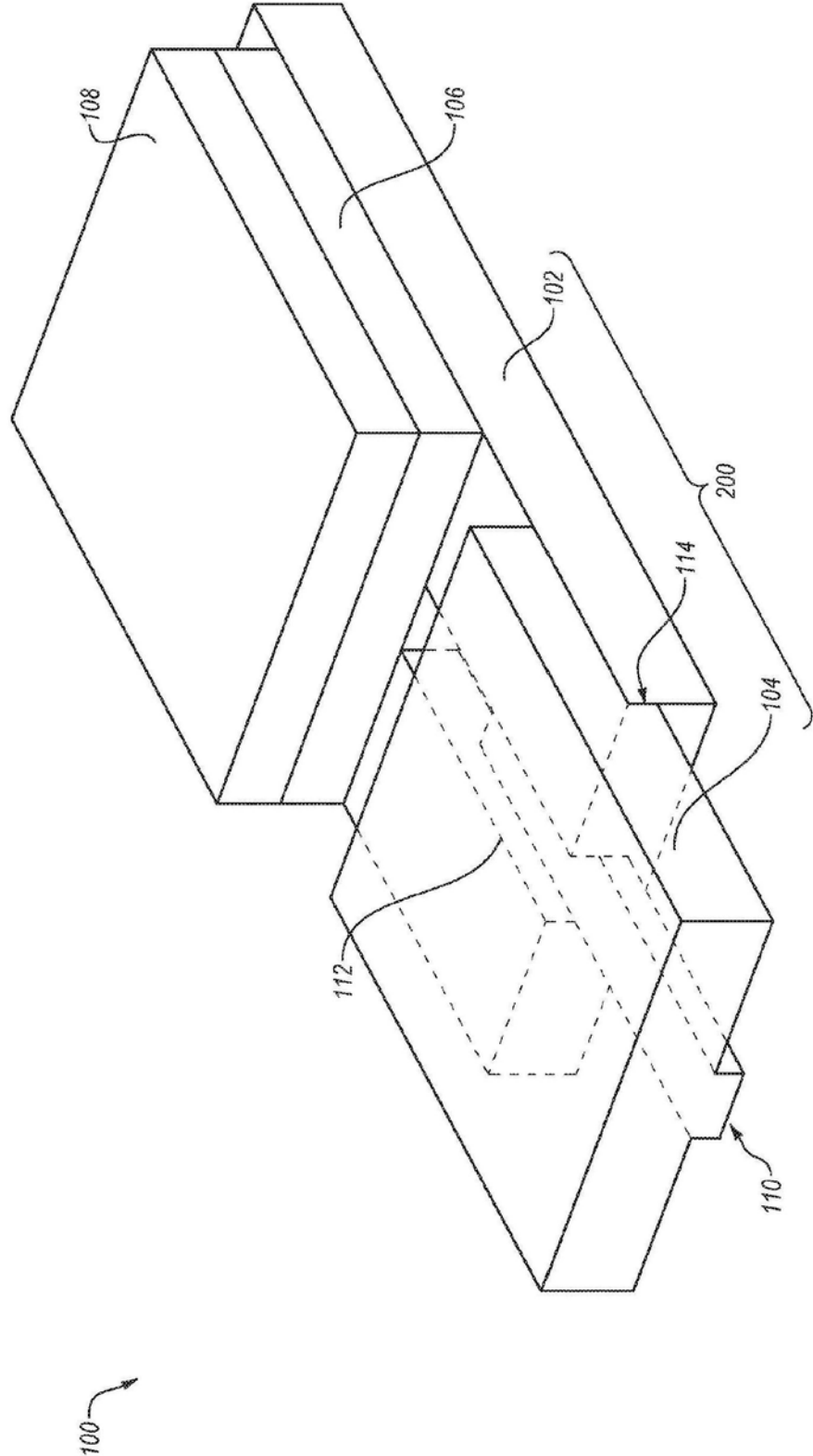


图1A

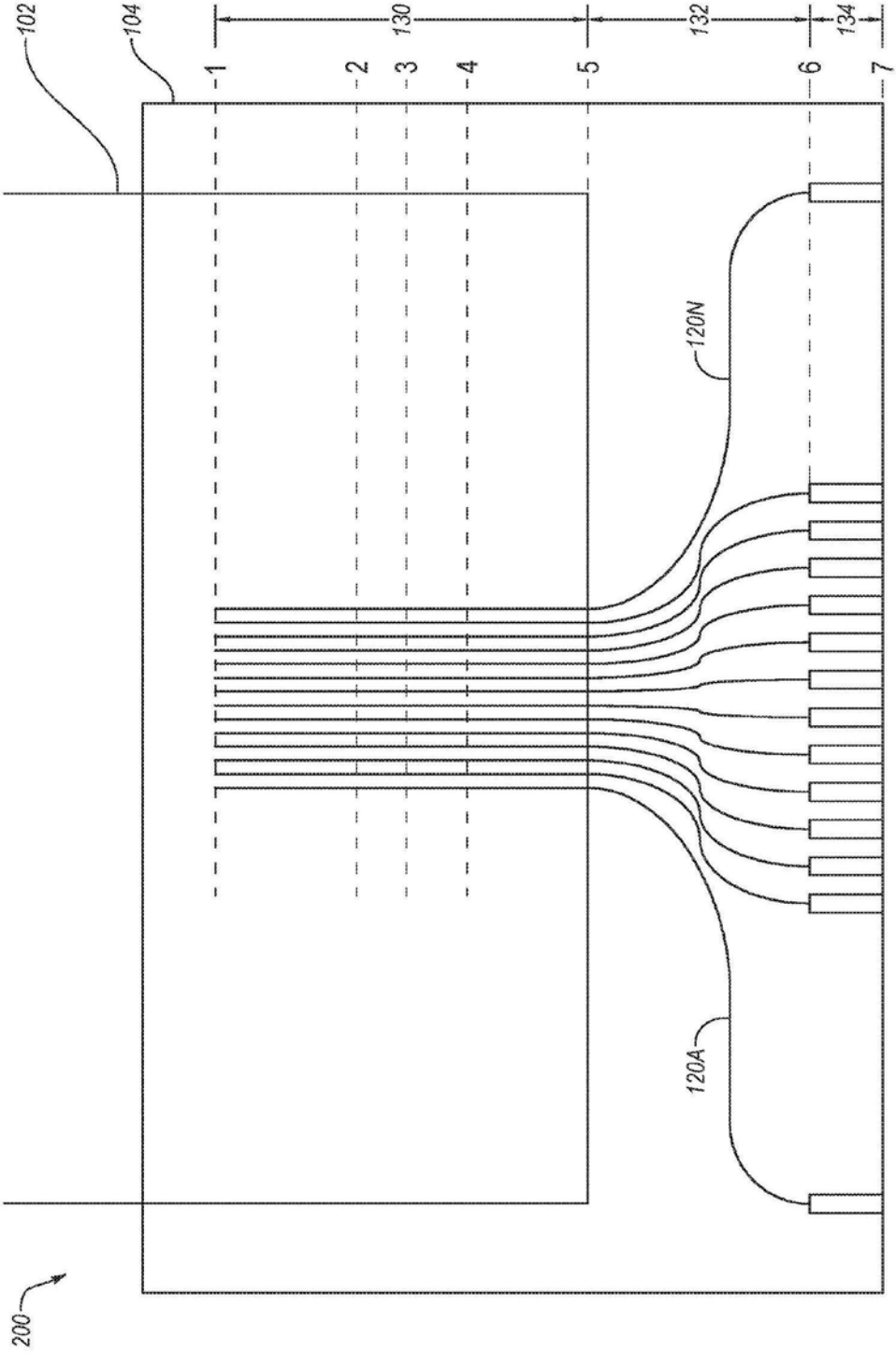


图1B

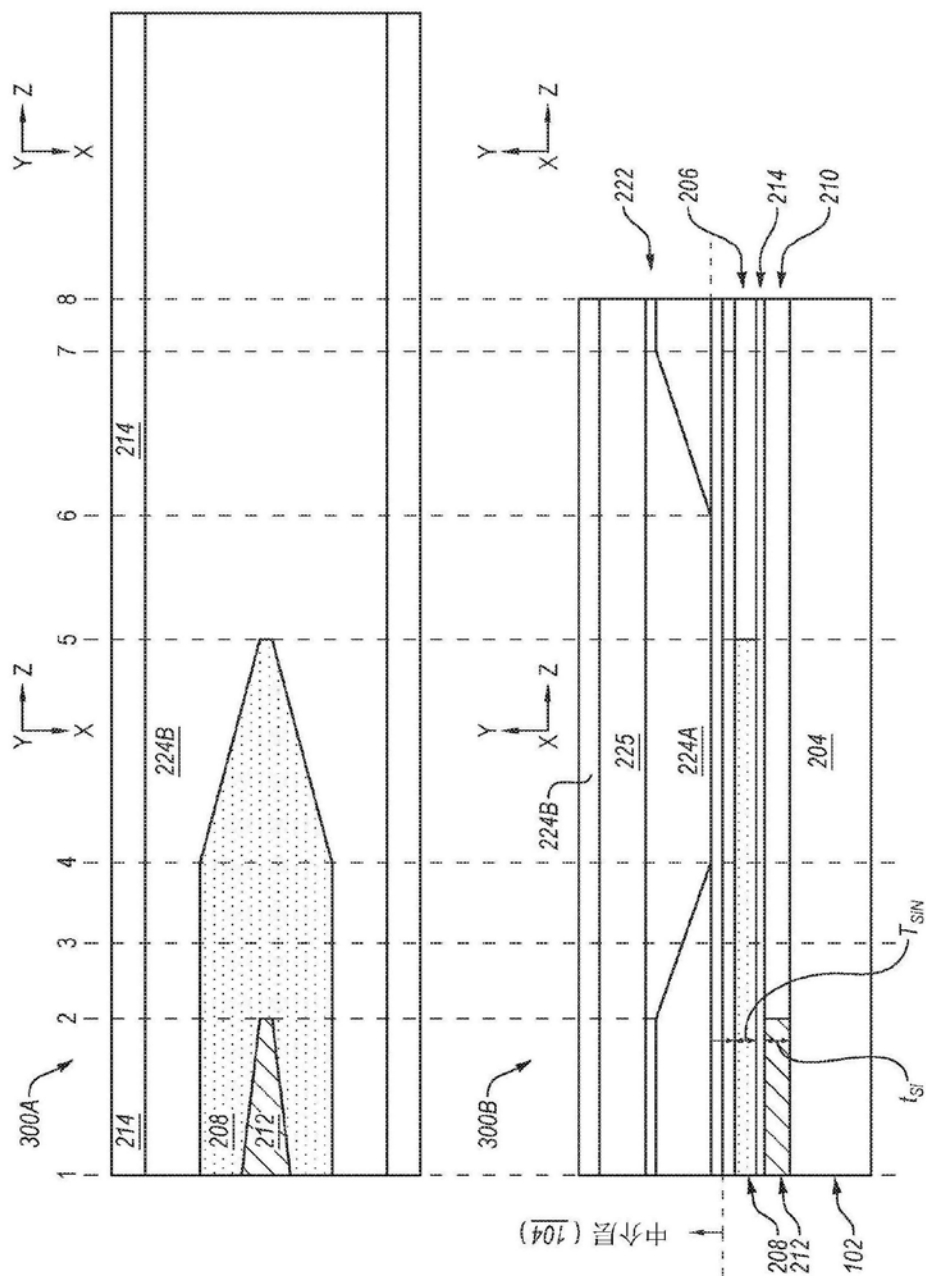


图3A

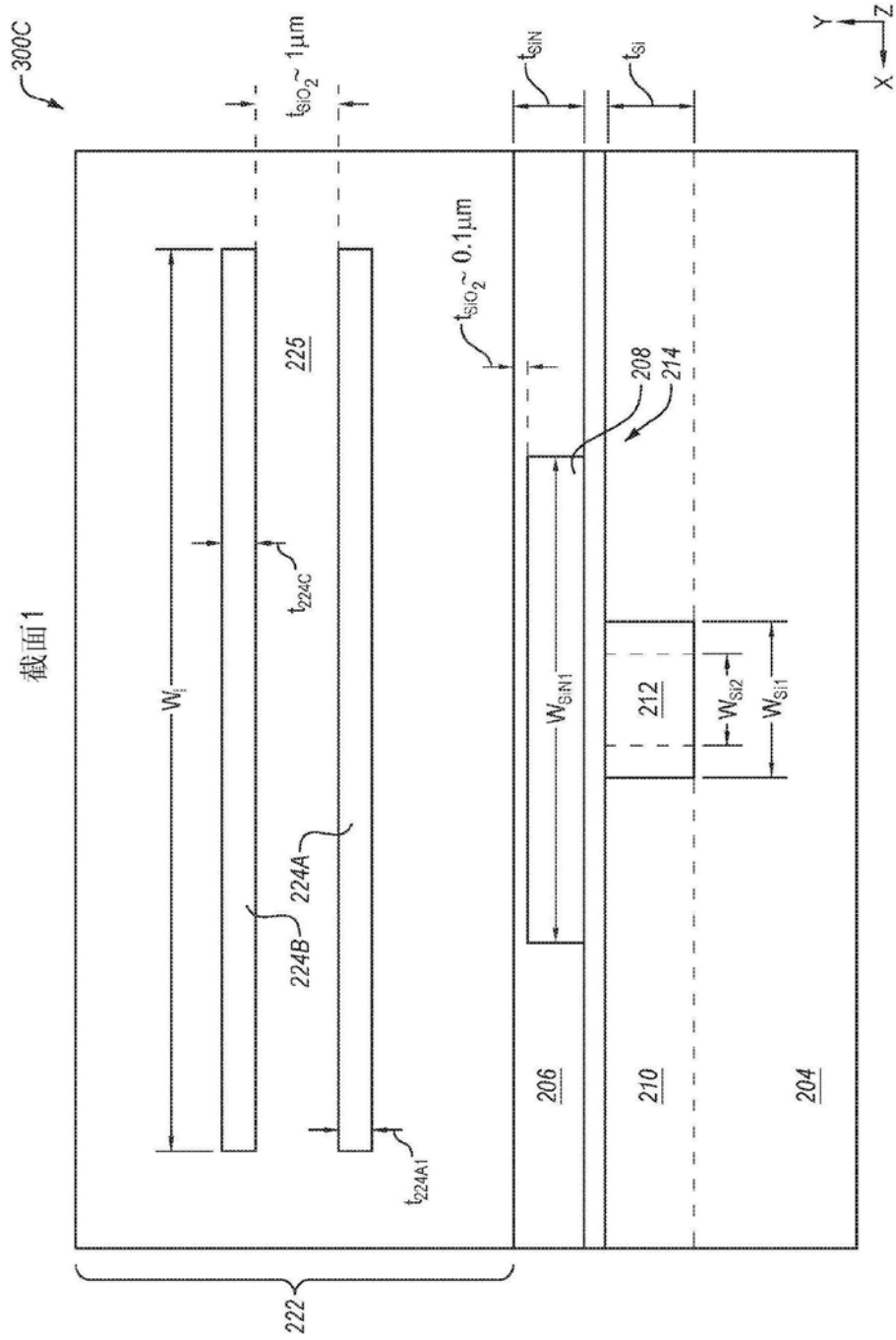


图3B

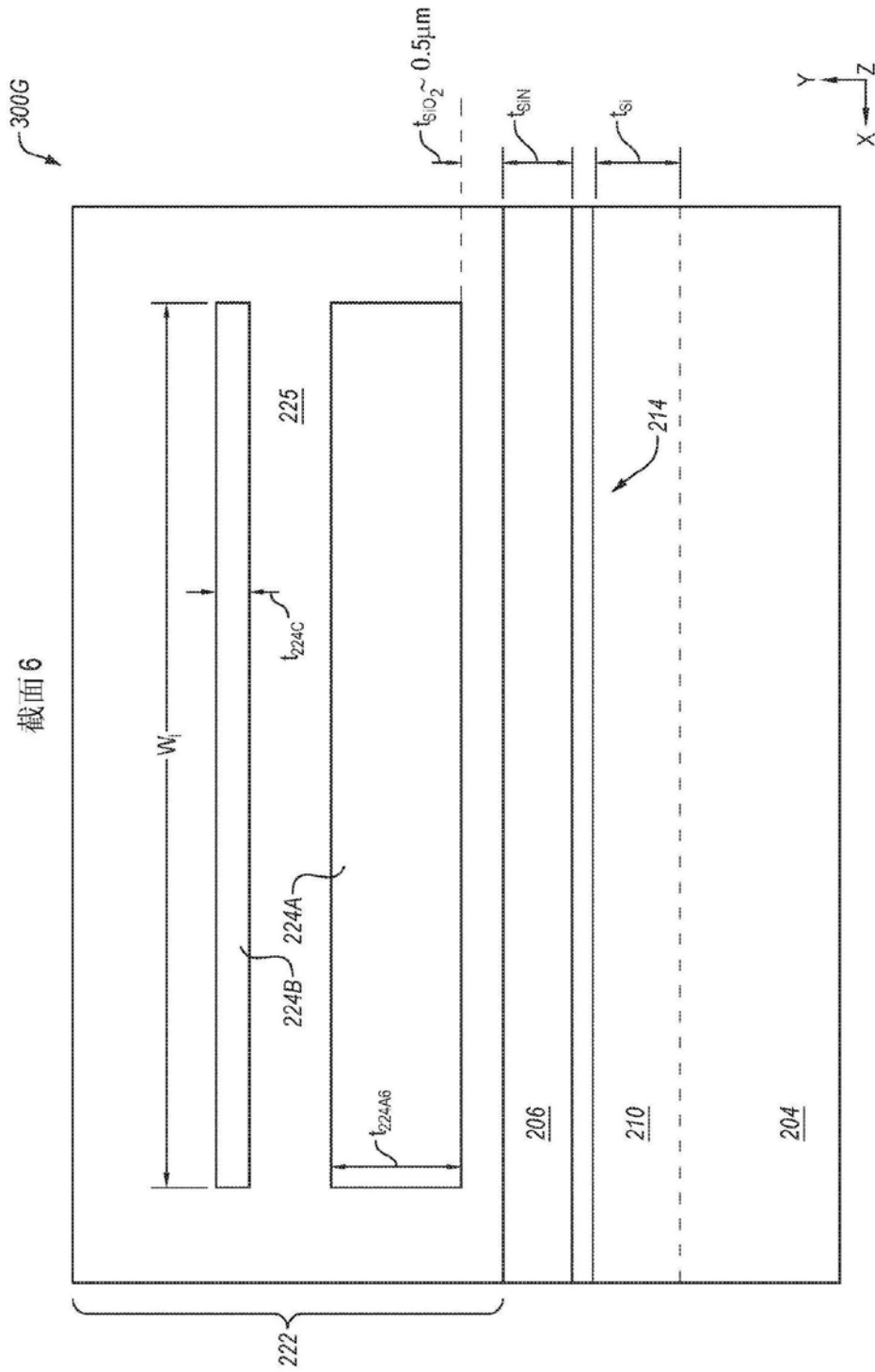


图3F

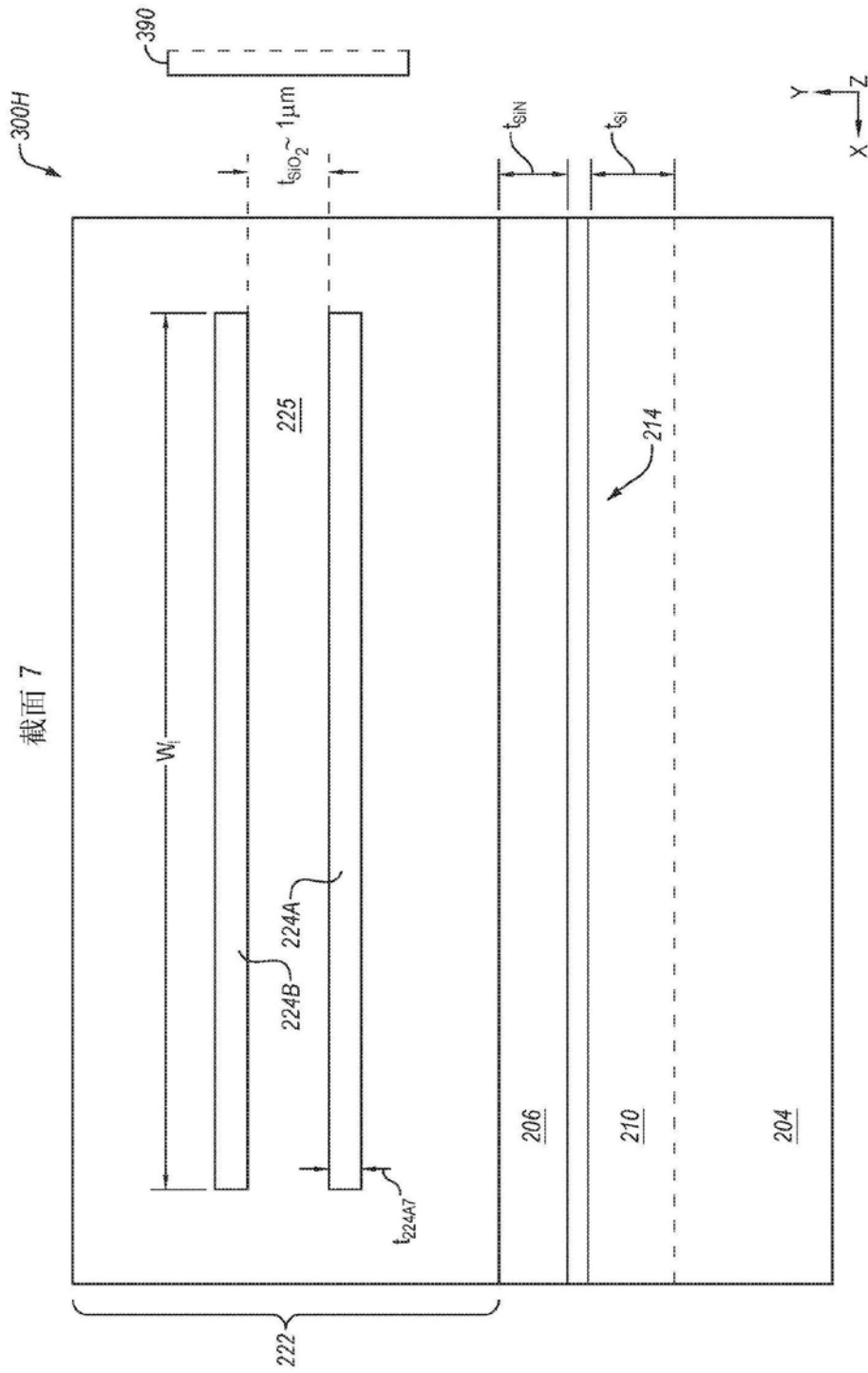


图3G

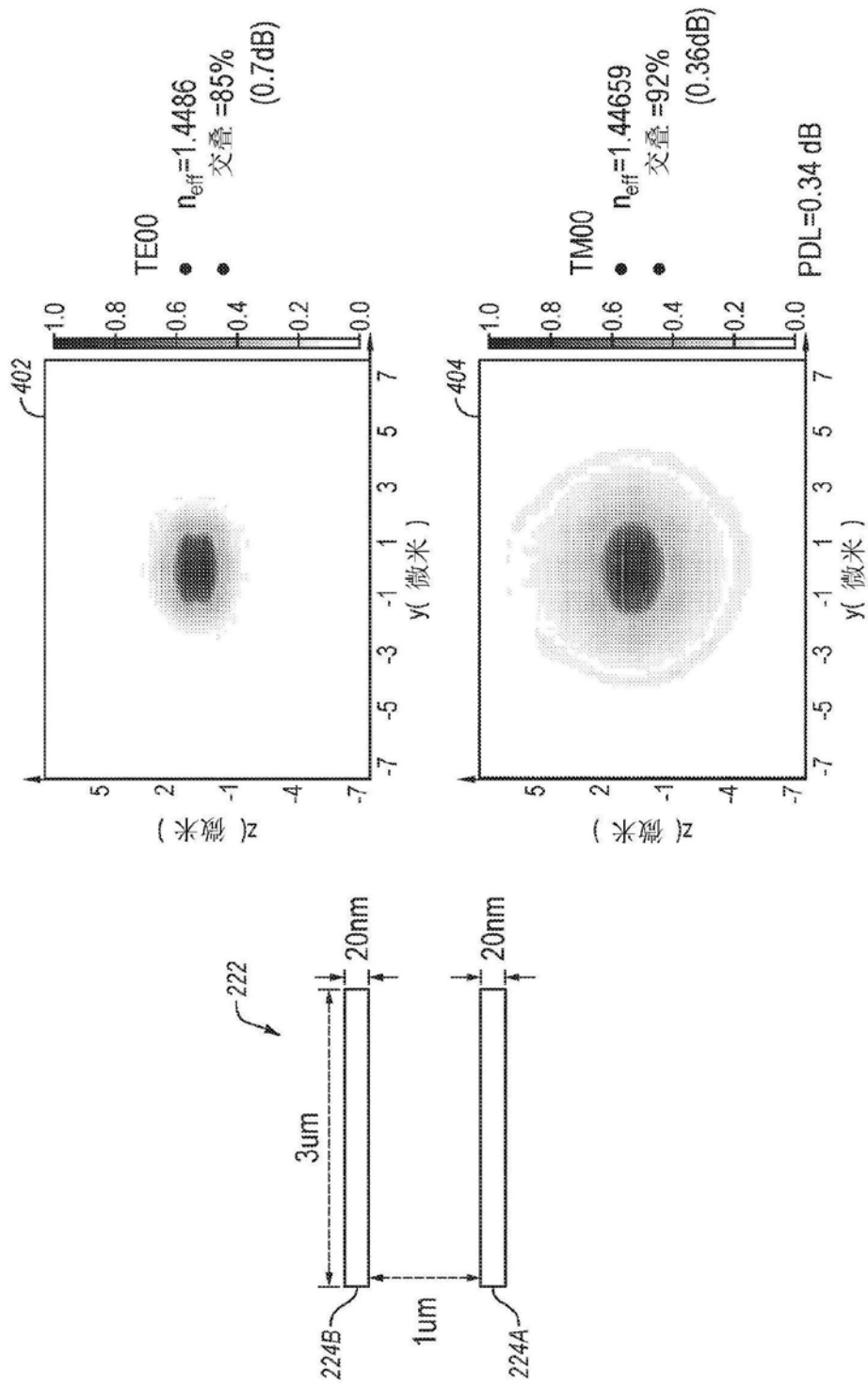


图4

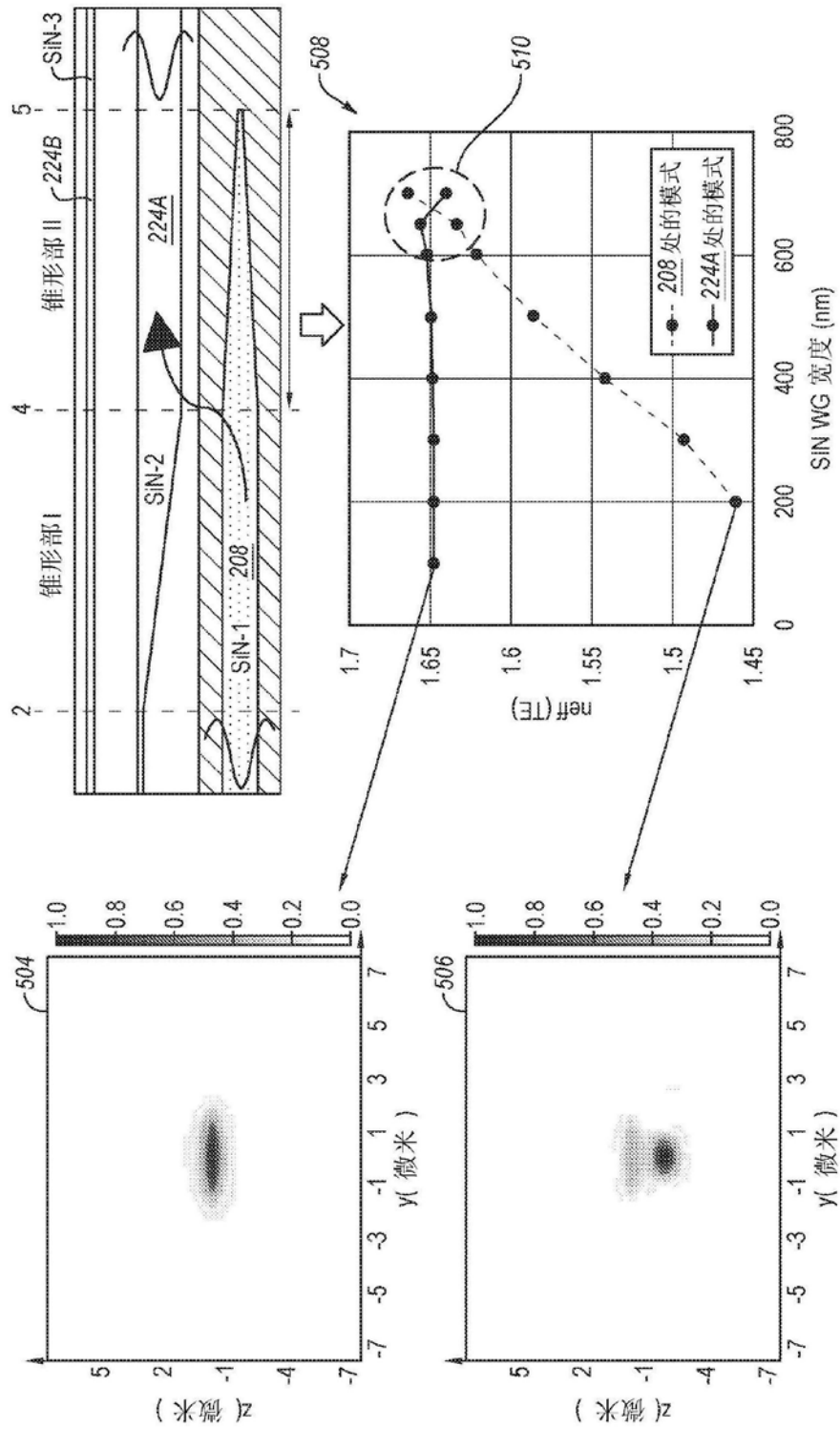


图5A

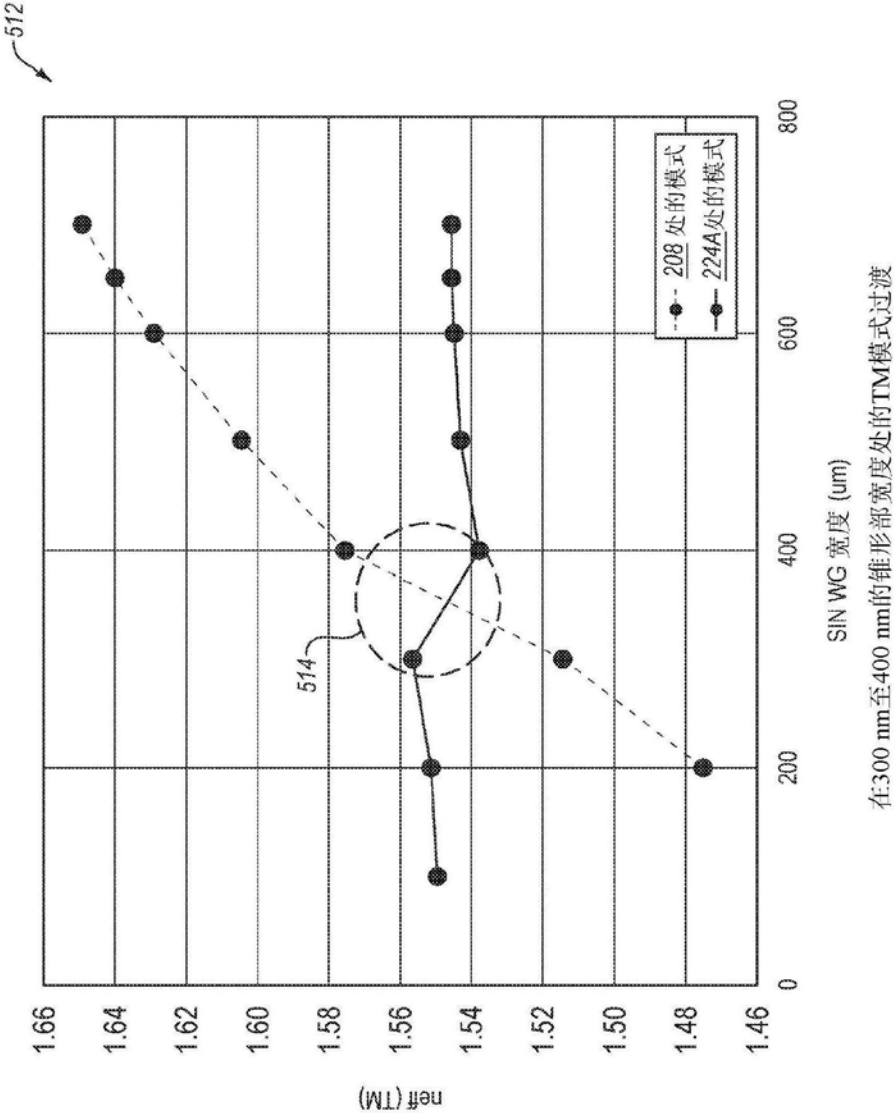


图5B

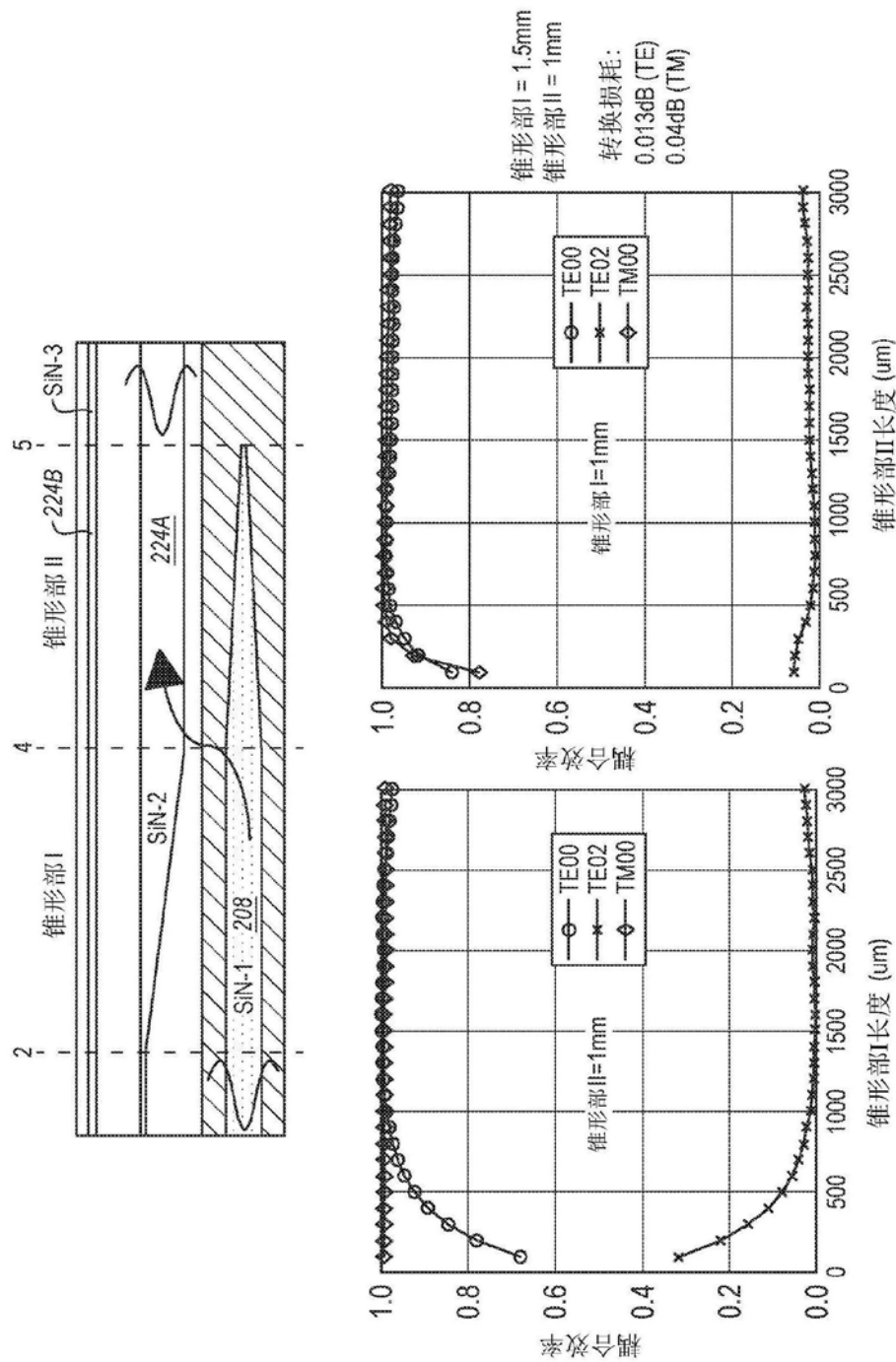
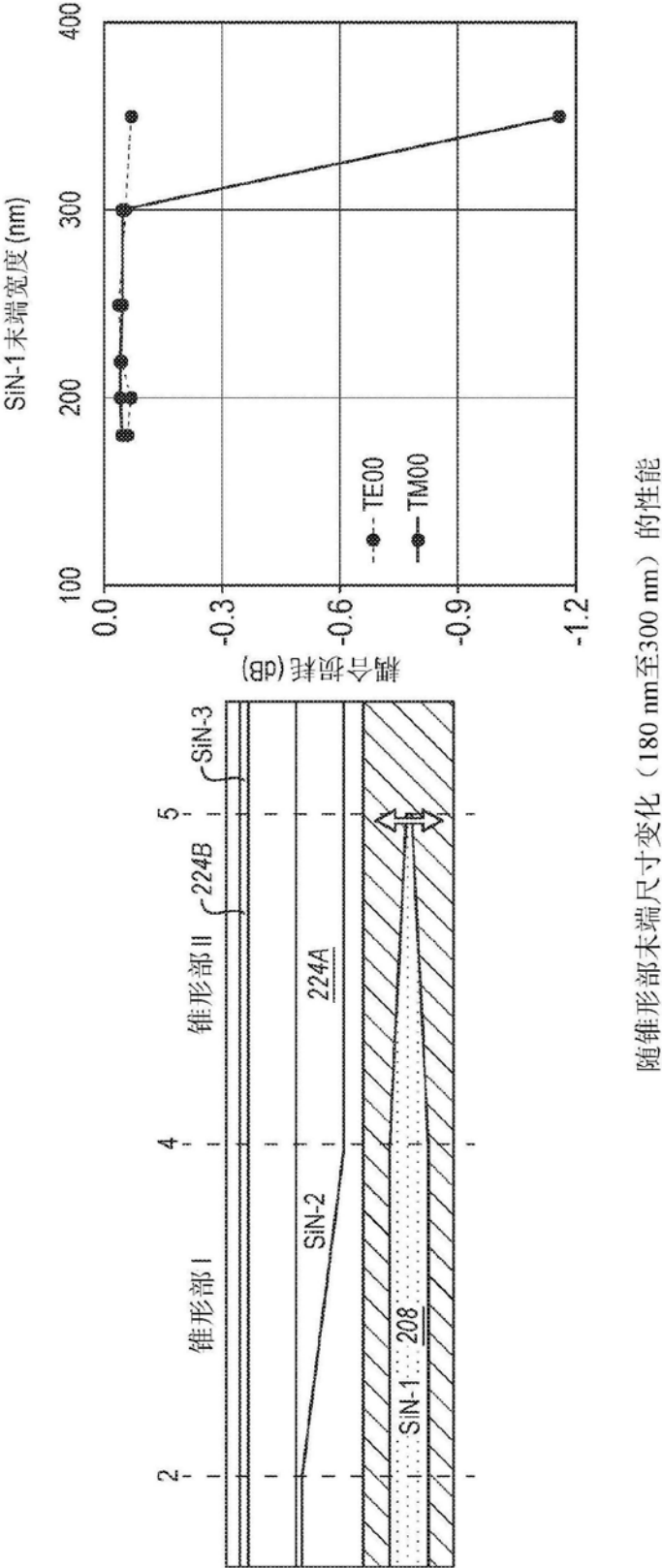


图6



随锥形部末端尺寸变化（180 nm至300 nm）的性能

图7

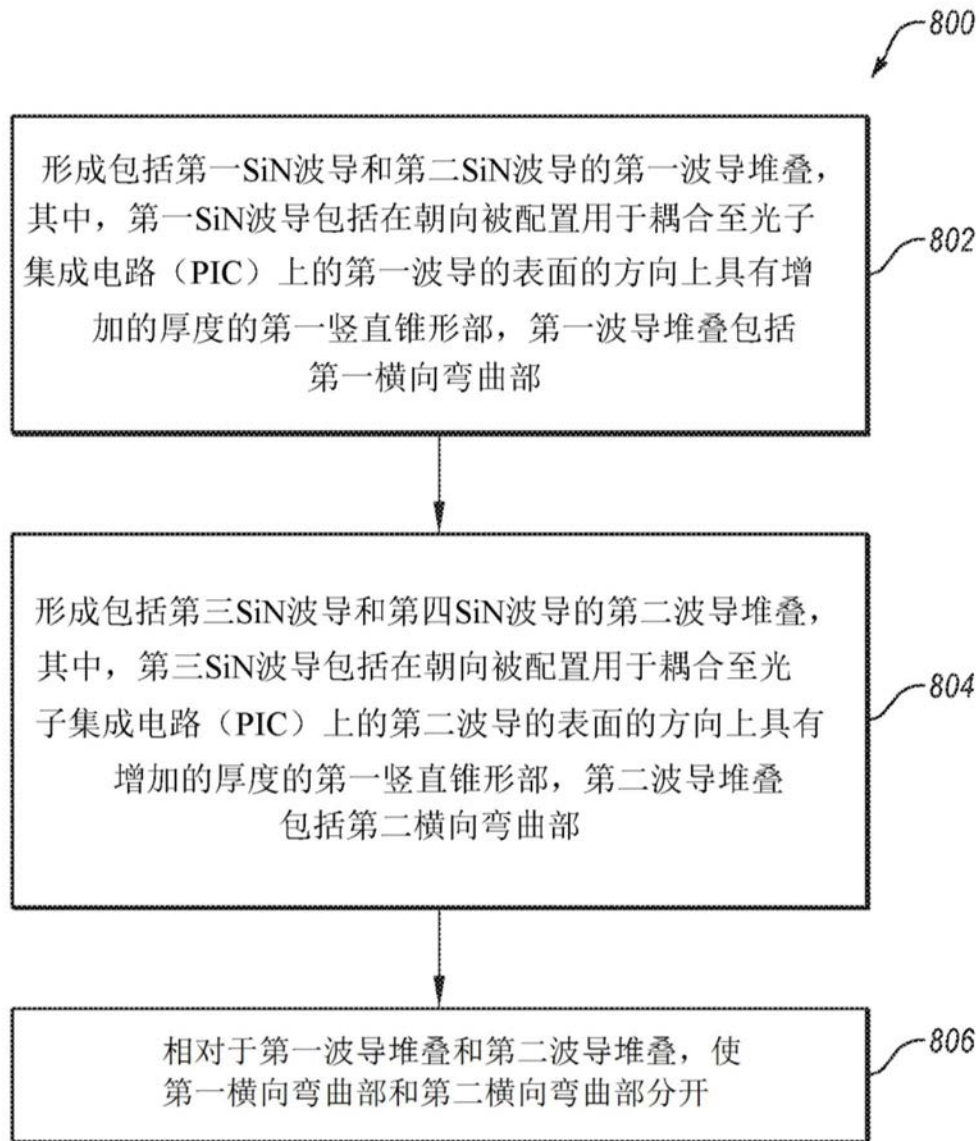


图8