



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110297296 A

(43)申请公布日 2019.10.01

(21)申请号 201910128732.1

(22)申请日 2019.02.21

(30)优先权数据

15/927,391 2018.03.21 US

(71)申请人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 J·赫克 H·弗里希

P·R·韦斯特

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 林金朝 王英

(51)Int.Cl.

G02B 6/42(2006.01)

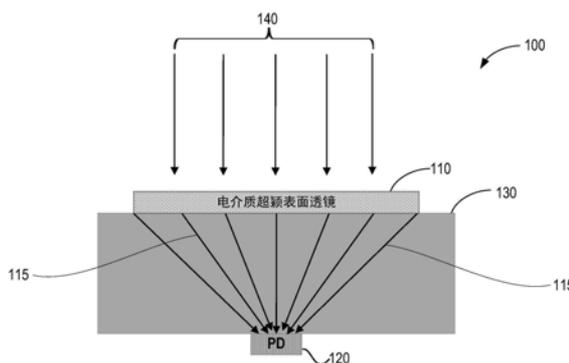
权利要求书2页 说明书11页 附图11页

(54)发明名称

采用超颖表面采集透镜的光接收器

(57)摘要

公开了一种光电子装置。在实施例中，光电子装置可以包括：具有第一侧和与第一侧相对的第二侧的衬底；设置在衬底的第一侧上的光检测器，光检测器用于将光信号转换成电信号；以及被刻蚀到衬底的第二侧中的电介质超颖表面透镜，电介质超颖表面透镜用于采集入射光，并且将入射光通过所述衬底聚焦到光检测器上。



1. 一种光电子装置,包括:
衬底,其具有第一侧和与所述第一侧相对的第二侧;
设置在所述衬底的第一侧上的光检测器,所述光检测器用于将光信号转换成电信号;
以及
被刻蚀到所述衬底的第二侧中的电介质超颖表面透镜,所述电介质超颖表面透镜用于采集入射光并且使所述入射光通过所述衬底聚焦到所述光检测器上。
2. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述电介质超颖表面透镜用于从光纤接收所述入射光。
3. 根据权利要求2所述的装置,其中,所述入射光包括高速光信号。
4. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述入射光的光斑尺寸是所述光检测器的直径的至少两倍。
5. 根据权利要求4所述的装置,其中,选择所述光检测器的直径,以减小所述光检测器的电容。
6. 根据权利要求4所述的装置,其中,所述入射光的光斑尺寸是从100微米至1000微米。
7. 根据权利要求6所述的装置,其中,所述光检测器的直径是从2微米至100微米。
8. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述电介质超颖表面透镜具有与所述衬底的第二侧相邻的第一侧、以及与所述第一侧相对的第二侧,所述第二侧具有平面表面。
9. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述电介质超颖表面透镜包括亚波长纳米结构的阵列,以实现所述入射光在0与 2π 之间的相移。
10. 根据权利要求9所述的装置,其中,所述衬底包括硅,并且所述亚波长纳米结构的阵列包括由低折射率材料包围的高折射率硅特征。
11. 根据权利要求10所述的装置,其中,所述低折射率材料为SiO₂或者空气之一。
12. 根据权利要求10所述的装置,其中,所述高折射率硅特征包括柱或孔中的至少一个。
13. 根据权利要求10所述的装置,其中,所述亚波长纳米结构的阵列包括多条同心带,每条带包括在所述带内具有变化的尺寸的柱和/或孔。
14. 根据权利要求10所述的装置,其中,由下式确定所述亚波长纳米结构的高度,
高度 $\geq \lambda_0 / \Delta n$
其中, λ_0 是所述入射光在空气中的波长,并且
 Δn 是所述硅结构和所述低折射率材料之间的折射率之差。
15. 根据权利要求10所述的装置,其中,由下式确定所述亚波长纳米结构的间距,
间距 $\leq \lambda_0 / n_{\text{高}}$
其中, λ_0 是所述入射光在空气中的波长,并且
 $n_{\text{高}}$ 是所述高折射率材料的折射率。
16. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述电介质超颖表面透镜还用于将所述入射光聚焦,以使得趋于大量的光量被衍射到所述光检测器中。
17. 根据权利要求1-16中任一项所述的装置,其中,所述衬底具有高折射率,并且所述衬底对处于所述入射光的波长的光进行低吸收或者不吸收。
18. 一种光通信系统,包括:

光信号源,其用于发送高速光信号;

光纤,其耦合到所述光信号源;

光耦合器,其耦合到所述光纤,以接收所述高速光信号并且将所述高速光信号耦合到光电子装置;以及

光电子装置,包括:

第一侧,其上设置有光电子设备;以及

与所述第一侧相对的第二侧,所述第二侧包括由低折射率材料包围的一组高折射率纳米结构;

所述光电子装置用于接收所述高速光信号并且输出电子信号。

19. 根据权利要求18所述的光通信系统,还包括被通信耦合到所述光电子装置以接收所述电信号的电路。

20. 根据权利要求19所述的光通信系统,其中,所述高折射率纳米结构由硅制成,并且周围的所述低折射率材料是空气或者二氧化硅之一。

21. 根据权利要求20所述的光通信系统,其中,所述高折射率纳米结构包括矩形台面和凹陷中的一个或多个。

22. 根据权利要求20所述的光通信系统,其中,所述光电子设备是光传感器或者照相机之一。

23. 一种制造电路封装的方法,包括:

提供具有顶表面和底表面的层;

在所述层的顶表面上提供光传感器;以及

处理所述层的底表面,以使入射光通过所述层聚焦到所述光传感器上。

24. 根据权利要求23所述的方法,所述处理包括刻蚀所述层的底表面以形成亚波长纳米特征的阵列。

25. 根据权利要求24所述的方法,其中,所述亚波长纳米特征的阵列包括至少两个同心环,每个环包括多个高折射率柱或孔结构,所述柱或孔结构在每个环内具有变化的尺寸。

采用超颖表面采集透镜的光接收器

技术领域

[0001] 本发明涉及光电子学,并且更具体而言,涉及包括采集透镜和光检测器的光电子设备。

背景技术

[0002] 用于高速光互连的光接收器需要从光纤接收光,将其聚焦到光检测器(PD)上,并且将该高速光信号转换成电信号。为了将光聚焦到PD上,使用了透镜。

附图说明

[0003] 图1示出了根据各种实施例的具有超颖表面透镜的光接收器。

[0004] 图2示出了根据各种实施例的可以在超颖表面透镜中提供的示例性柱结构。

[0005] 图3示出了根据各种实施例的可以在超颖表面透镜中提供的示例性柱和孔结构的示意图。

[0006] 图3A描绘了根据各种实施例的作为柱或孔宽度的函数的相位移的曲线图。

[0007] 图4描绘了使用渐变折射率电介质层(灰色=高折射率,白色=低折射率)的示例性超颖表面透镜的示意图、以及示出了作为半径的函数的期望相位的曲线图。

[0008] 图5A描绘了根据各种实施例的示例性超颖表面透镜的设计,其中,在若干同心环中的每个同心环中调制入射光的相位。

[0009] 图5B描绘了图5A的示例性透镜的右下象限的放大视图,以示出每个环中用于调制相位的各种结构。

[0010] 图6描绘了根据各种实施例的示例性通信系统。

[0011] 图7A示出了根据各种实施例的用于提供光电子接收器的过程的操作流程的概况。

[0012] 图7B示出了根据各种实施例的用于提供光电子接收器的替代过程的操作流程的概况。

[0013] 图8描绘了根据各种实施例的适合于实践本公开的计算机设备的框图。

具体实施方式

[0014] 在实施例中,光电子装置可以包括:衬底,其具有第一侧和与第一侧相对的第二侧;光检测器,其设置在衬底的第一侧上,光检测器用于将光信号转换成电信号;以及电介质超颖表面透镜,其被刻蚀到衬底的第二侧中,电介质超颖表面透镜用于采集入射光,并且通过衬底将入射光聚焦到光检测器上。

[0015] 在实施例中,电介质超颖表面透镜可以从光纤接收入射光。在实施例中,入射光可以包括高速光信号。在实施例中,入射光的光斑尺寸可以大于光检测器的直径,并且,在一些实施例中,其可以是光检测器的直径的至少10倍。在实施例中,例如,入射光的光斑尺寸可以从100至1000微米,并且光检测器的直径可以从2至100微米。

[0016] 在实施例中,选择光检测器的直径,以减小光检测器的电容。

[0017] 在实施例中,电介质超颖表面透镜可以具有与衬底的第二侧相邻的第一侧、以及与第一侧相对的第二侧,第二侧具有平面表面。

[0018] 在实施例中,电介质超颖表面透镜可以包括用于实现0和 2π 之间的入射光的相移的亚波长纳米结构的阵列。在实施例中,衬底可以包括硅,并且亚波长纳米结构阵列可以包括由低折射率材料包围的高折射率硅特征。在实施例中,低折射率材料可以是 SiO_2 或者空气之一,并且高折射率硅特征可以包括柱或孔中的至少一个。

[0019] 在实施例中,亚波长纳米结构的阵列可以包括多条同心带,每条带包括在带内具有变化的直径的柱和/或孔,从而在带内创建了 $\geq 2\pi$ 的相位分布。

[0020] 在实施例中,可以由高度 $\geq \lambda_0/\Delta n$ 确定亚波长纳米结构的高度,其中, λ_0 是入射光在空气中的波长,并且 Δn 是硅结构和低折射率材料之间的折射率之差。相类似,在实施例中,可以由间距 $\leq \lambda_0/n_{\text{高}}$ 确定亚波长纳米结构的间距,其中, λ_0 是入射光在空气中的波长,并且 $n_{\text{高}}$ 是高折射率材料的折射率。

[0021] 在实施例中,电介质超颖表面透镜可以将入射光聚焦,使得趋于大量的光量被衍射到光检测器中。

[0022] 在实施例中,衬底可以具有高折射率,并且对处于入射光的波长的光进行低吸收或者不吸收。

[0023] 在实施例中,光通信系统可以包括:光信号源,其发送高速光信号;光纤,其耦合到光信号源;光耦合器,其耦合到光纤,以接收高速光信号并将高速光信号耦合到光电子装置;以及光电子装置。在实施例中,光电子装置可以包括在其上提供光电子设备的第一侧、以及与第一侧相对的第二侧,第二侧包括由低折射率材料包围的一组高折射率纳米结构,光电子装置用于接收高速光信号并且输出电子信号。

[0024] 在实施例中,光通信系统还可以包括可通信地耦合到光电子装置以接收电信号的电路。在实施例中,高折射率纳米结构可以由硅制成,并且周围的低折射率材料可以是空气或者二氧化硅之一。在实施例中,高折射率纳米结构可以包括圆柱形台面。

[0025] 在实施例中,光电子设备可以是光传感器或者照相机之一。

[0026] 在实施例中,制造电路封装的方法可以包括:提供具有顶表面和底表面的层,在所述层的顶表面上提供光传感器,以及处理所述层的底表面,以通过所述层将入射光聚焦到光传感器上。在实施例中,所述处理可以包括刻蚀所述层的底表面,以形成亚波长纳米特征的阵列,亚波长纳米特征的阵列可以包括至少两个同心环,每个环包括多个高折射率柱或孔结构,在每个环内柱或孔结构具有变化的尺寸。

[0027] 在以下的描述中,将使用本领域技术人员为向本领域其他技术人员传达他们的工作内容而通常采用的术语来描述这些例示性实施方式的各种方面。然而,对本领域技术人员将显而易见的是,可以仅利用所描述的方面中的某些方面来实践本公开的实施例。为了便于解释,阐述了具体的数目、材料、以及配置以提供对例示性实施方式的透彻理解。对本领域技术人员将显而易见的是,可以在没有具体细节的情况下实践本公开的实施例。在其它实例中,省略或者简化了公知的特征,以免使例示性实施方式难以理解。

[0028] 在以下具体实施方式中,将参照形成具体实施方式的部分的附图,其中,在整个描述中,类似的附图标记指示类似的部分,并且其中,通过例示的方式示出了可以实践本公开的主题的实施例。应该理解,可以利用其它实施例并且可以进行结构和逻辑上的改变,而不

脱离本公开的范围。因此,以下具体实施方式不应以限制性意义来理解,并且实施例的范围由所附权利要求以及它们的等同物来限定。

[0029] 出于本公开的目的,短语“A和/或B”意指(A)、(B)、或者(A和B)。出于本公开的目的,短语“A、B和/或C”意指(A)、(B)、(C)、(A和B)、(A和C)、(B和C),或者(A、B和C)。

[0030] 这一描述可以使用诸如顶部/底部、进/出、之上/之下等基于透视图的描述。使用这样的描述仅仅是为了有助于进行讨论,而不旨在将本文所描述的实施例的应用限制于任何特定方向。

[0031] 这一描述可以使用短语“在实施例中”,其可以指相同或者不同实施例中的一个或多个。另外,当针对本公开的实施例使用时,术语“包括”、“包含”、“具有”等是同义的。

[0032] 另外,还应注意,可以将实施例描述为过程,过程被描绘为流程图、流程图表、数据流图、结构图、或者框图。尽管流程图可以将操作描述为顺序过程,然而也可以并行、并发、或者同时执行所述操作中的许多操作。另外,也可以重新布置操作的次序。过程可以在完成其操作时终止,但也可以具有未包括在图中的附加的步骤。过程可以对应于方法、功能、规程、子例程、子程序等。

[0033] 本文中可以使用术语“与…耦合”、及其衍生物。“耦合”可以意指以下的一个或多个。“耦合”可以意指两个或更多元件直接物理或者电接触。然而,“耦合”也可以意指两个或更多元件互相间接接触,但仍互相合作或者互相交互,并且可以意指一个或多个其它元件耦合或者连接在被称为被互相耦合的元件之间。术语“直接耦合”可以意指两个或更多元件直接接触。

[0034] 在各种实施例中,短语“形成、沉积、或者以其它方式设置在第二层上的第一层”可以意指第一层被形成、沉积、生长、接合、或者以其它方式设置在第二层之上,并且第一层的至少一部分可以与第二层的至少一部分直接接触(例如,直接物理和/或电接触)或者间接接触(例如,在第一层和第二层之间具有一个或多个其它层)。

[0035] 如以下(包括权利要求)所使用的,术语“电路”可以指代或包括执行一个或多个软件或者固件程序的专用集成电路(ASIC)、电子电路、光电子电路、通信系统或者设备、处理器(共享、专用、或者群组)、和/或存储器(共享、专用、或者群组)、组合逻辑电路、和/或提供所描述的功能的其它适当硬件部件,或者是它们的一部分。在一些实施例中,电路可以实施一个或多个软件或者固件模块,或者与电路相关联的功能可以由一个或多个软件或者固件模块实施。

[0036] 如本文所使用的,术语“模块”可以指代或包括执行一个或多个软件或者固件程序的专用集成电路(ASIC)、电子电路、处理器(共享、专用、或者群组)、和/或存储器(共享、专用、或者群组)、组合逻辑电路、和/或提供所描述的功能的其它适当部件,或者是它们的一部分。

[0037] 应注意,给定调制解调器数据链路的速度,在光接收器中,要求光检测器(PD)中的小的RC延迟,由此需要小的PD,以使电容最小化。为了实现这一点,可以提供与PD精确对准的高质量透镜。一种方案可以包括硅红外聚焦透镜的使用。透镜可以是被接合或者附接到PD管芯的离散部件、或者形成在硅晶片的背侧上的刻蚀的透镜。

[0038] 然而,还应注意,全球仅几家供应商提供离散的硅透镜,而且价格趋贵(例如,单个管芯至少几美元)。耦合损耗很大程度上取决于对准的精度以及管芯接合,并且此外,由于

离散透镜是独立的部件,所以至少存在两个附加的接口,从而增加了损耗以及背面反射。

[0039] 另一方面,刻蚀的透镜可以在衬底背侧上创建 $\sim 50\mu\text{m}$ 的拓扑结构,这在制造、测试、管芯制备、以及封装期间的晶片处理中可能导致各种各样的问题。不仅必须非常小心地处理这样的表面,而且几乎不可能修复可能出现的任何对其的损伤。

[0040] 因此,在实施例,可以将电介质超颖表面集成到接收器晶片的背侧上以取代标准凸透镜。实质上,例如,电介质超颖表面可以使用具有创建 2π 相移的有效折射率的Si/SiO₂特征的亚波长阵列。在实施例,一旦 2π 相移可得,则可以设计菲涅尔区,以将来自大光模尺寸的光聚焦到晶片的正面上的小光检测器上。与衍射透镜不同,在实施例,理想的是,没有光将从目标光检测器被衍射离开。于是,在实施例,电介质超颖表面透镜可以聚焦入射光,使得趋于大量的光量被衍射到光检测器中。

[0041] 应注意,本文所描述的Si/SiO₂特征的使用是示例性的,并且也可以使用其它高折射率/低折射率材料组合,例如, Si/空气或者Si/硫属化物玻璃等。

[0042] 在实施例,无论使用哪一种衬底都应该:在所使用的波长处具有大折射率(尽可能大)、低(理想而言,无)吸收,以及与任何与其集成的其它部件(例如,CMOS)兼容。由于在许多实施例中硅满足了所有这三个条件,所以对于许多实施例都可以选择硅。然而,应注意,通常,可以基于应用以及期望光波长选择衬底。于是,对于中红外(IR)中的应用,硅可能是好选择。对于光学应用(例如,集成照相机和透镜),可以使用诸如玻璃的光学透明材料。

[0043] 在实施例,可以使用现有的加工工具和工艺制造电介质超颖表面透镜。在实施例中,电介质超颖表面透镜可以具有完全平面的背侧表面,这很大程度上消除了任何背侧处理问题。在实施例,可以将平面透镜本身嵌入氧化物(例如, SiO₂)内,并且将其密封于抗反射涂层之下,以使得任何清理(如果需要的话)可以是简单的。

[0044] 于是,在实施例,可以使用电介质超颖表面透镜取代常规凸透镜。电介质超颖表面透镜还可以具有用于执行聚焦功能的平面纳米结构表面,如以下结合图1所描述的。

[0045] 图1示出了根据各种实施例的示例性超颖表面透镜。电介质超颖表面透镜110可以通过使用亚波长纳米结构修改薄层的折射率来进行操作,以实现可以被定义在0和 2π 之间的相移。在实施例,这可以使用由诸如空气或者氧化物的低折射率材料包围的高折射率硅特征(诸如柱状物或孔、或者矩形柱和管(衬底顶部中的矩形空腔))的阵列来实现。继续参照图1,可以在衬底130的背侧上提供电介质超颖表面透镜110。如所提到的,其上表面可以是平面的。可以在衬底130的正面或者顶侧上提供光检测器120。如以下所提到的,在实施例中,光检测器120可以小于或者明显小于电介质超颖表面透镜110。于是,透镜110可以被定位为使入射光140(由若干射线140示意性示出)聚焦到光检测器120上。通过透镜110使光射线140折射,以到达光检测器120。通过折射的射线140,在图1中示意性地示出了该过程。

[0046] 图2示出了示例性硅纳米结构阵列205,其可以用于调制平面超颖表面透镜的一部分中的入射光的相位。所述阵列可以包括柱和孔结构的若干实例,如所示(而且,为此,其在本文中可以被称为“纳米柱阵列”)。图2描绘了示例性纳米结构排的图案的扫描电子显微镜图像205和210,每排具有不同尺寸的柱或孔。可以看出,阵列是平面的,因为每个结构具有相同的高度。例如,所示的示例性结构可以由硅制成。其中,看不到突出的材料,可以在结构之间或者结构内的空间填充例如空气或者例如诸如SiO₂的另一种电介质。此处应注意,在许多情况下,光可以从具有大光斑尺寸(例如,数百微米)的光纤或者其它光学部件(例如,

解复用器) 聚焦到例如具有几微米至几十微米直径的小光检测器。在该情况下, 菲涅尔透镜可用于捕获并聚焦整个光模, 如以下所描述的图4中所示。

[0047] 图像210示出了图像205中所示出的硅纳米柱阵列的较宽的视图, 此处示出了阵列结构的两个完整周期。如图所示, 在该示例中, 一个完整周期的长度约为3微米。在图像210中, 在220和230中的每者处示出了个体完整周期, 并且如在215处所示, 周期230开始于(从左向右看) 完全无结构的扁平排。如所提到的, 可以利用低折射率电介质填充该空间, 并且在图2的示例中, 该低折射率电介质为空气。该普通空气排被放置为与周期220的最后一排(其为最大柱尺寸) 相邻, 并且结果, 在阵列结构的任何两个周期的边缘处存在不连续性。于是, 在每个条带中, 每个“环”或“条带”的第一、或最左侧结构为纯空气, 并且最后、或最右侧结构为纯硅。硅的填充率从左至右增大。

[0048] 因此, 如以下所详细描述, 诸如图1的电介质超颖表面透镜110的单个透镜可以具有若干“条带”、“带”或者“环”, 其中, 提供了纳米结构的定义的图案。在实施例, 所述图案可以在透镜的每个条带、带或者环中重复, 如图2的图像210中所示。在实施例, 每个条带、带或者环的宽度可以随着与透镜中心的距离而变化、或者沿某一其它径向距离轴变化, 如以下所提到的。如图所示, 图2中所示的示例性柱和孔结构具有不同的尺寸, 并且因而, 示例性柱和孔结构可以基于诸如硅的高折射率材料相对于诸如空气的低折射率材料的变化“填充率”按不同的方式调制入射光。在实施例, 可以在平面电介质超颖表面透镜中使用若干类型/尺寸的纳米结构, 以便将入射光的相位修改为作为沿透镜的径向距离的函数的期望值, 如以下所描述的。

[0049] 如以上所提到的, 在实施例, 为了实现 2π 相移, 可以由以下方程确定亚波长纳米结构的高度:

$$[0050] \quad \text{高度} \geq \lambda_0 / \Delta n,$$

[0051] 其中, λ_0 是入射光在空气中的波长, 并且 Δn 是硅结构和低折射率材料之间的折射率之差。例如, 空气所包围的硅柱状物将具有等于 $(n_{\text{硅}} - n_{\text{空气}}) = (3.5 - 1) = 2.5$ 的 Δn 。

[0052] 相类似, 在实施例, 可以由以下方程确定亚波长纳米结构的间距(即, 它们各自中心之间的距离):

$$[0053] \quad \text{间距} \leq \lambda_0 / n_{\text{高}},$$

[0054] 其中, λ_0 是入射光在空气中的波长, 并且 $n_{\text{高}}$ 是高折射率材料的折射率。

[0055] 在实施例, 例如, 可以使用典型的300mm半导体工具集中的标准工具集制造诸如图1中所示出的、具有诸如图2中所示的纳米结构的超颖表面透镜。在实施例, 对于1270-1410nm范围内的光, 例如, 柱状物特征的间距可以为 $<362\text{nm}$ 。在实施例, 间距(周期)可以由上述方程(间距 $\leq \lambda_0 / n_{\text{高}}$)的最小值确定。在该情况下, 要用于示例性透镜的最小波长是1270nm, 因此, 可以在所述方程中使用该值(以及对应于该波长的 $n_{\text{高}}$ 值)。应注意, 如果一个所使用的周期对应于1410nm光, 则对于1410nm的光, 其可以很好地工作, 但对于较小波长的光, 例如1270nm的光, 将具有强散射。在实施例, 对于1270nm, 所述高度可以具有大约720nm的深度以实现期望的 2π 相移。

[0056] 图3示出了根据各种实施例的在示例性超颖表面透镜中的条带内可以使用的4种类型的柱/孔结构的示例性序列。参照所述示例性序列, 开始于310, 例如, 示出了一组由空气包围的小硅柱。转向320, 示出了一组由空气包围的非常大的柱, 并且然后转向330, 可以

看到其中提供有若干孔的硅块。最后,在340处看到几乎全部的硅块,具有提供于其内的较小孔。于是,当从310移至340时,硅的填充率增大。

[0057] 此处应注意,对纳米结构的直径或尺寸(或者填充率)的计算独立于间距(周期)。必须使用模拟来计算结构和形状以及尺寸。其可以通过填充率被粗略近似,例如,50%Si、50%SiO₂将具有Si和SiO₂的折射率之间一半处的折射率,但这是非常粗略的估计,而且还应注意,实际的值并不是线性的,其取决于形状以及其它因素。

[0058] 于是,在实施例,可以使用有限元模型精确地对柱/孔的形状和尺寸进行建模。在图3中所示并且以下将参照图5B描述的填充率可以是相当粗糙的近似,并且不必非常精确。这也将取决于实际纳米结构的形状,例如,50%Si、50%SiO₂结构可以具有不同的尺寸,取决于结构是正方形还是圆形形状,如用圆柱形柱状物取代柱,如在图2和图3中所示的示例中。在实施例,正方形或者矩形柱(如图2和图3中所示)是明显的选择,因为它们很好镶嵌以得到高填充率。此处应注意,使用圆柱形结构获得99%填充率实质上是不可能的,但对于正方形/矩形而言是相当容易的。

[0059] 图3A,相位移相对于柱/孔宽度的模拟的曲线图,示出了相位如何随着柱/孔的宽度的变化而变化。图3A中所表示的结构是硅/空气超颖表面结构。参照图3A,相位移随着柱/孔尺寸变化而非线性变化。

[0060] 如以上所提到的,为了示出期望的相移,图4描绘了使用渐变折射率电介质层(暗灰色=高折射率,浅灰色/白色=低折射率)的示例性超颖表面透镜的示意图、以及示出了作为半径的函数的期望相位的曲线图(从透镜的边缘开始,因而透镜的中心处于曲线图的中间,其中,在中心曲线的底部相位为0)。

[0061] 图5A和图5B示出了根据各种实施例的具有圆形设计的示例性透镜。图5A示出了具有重复的环结构的示例性透镜,其示出了沿若干同心环中的每个同心环中的透镜在不同径向距离处的相位变化。在510示出了最接近中心的环,并且不同灰度密度的每个条带表示被施加到入射光(例如,图1中的入射光140)的不同相移。

[0062] 图5B更详细地示出了柱/孔结构的自顶向下的图像。在该示例中,该高折射率材料为Si,低折射率材料为SiO₂。而图5A示出了整个示例性圆形透镜,图5B描绘了透镜的四分之一的放大图,以示出用于调制相位的结构。如图5B中所见,示出了三个完整的环结构,其中的第一个为环560,其开始于透镜的中心附近,并且第二个环为环565,其包围环560。

[0063] 如以上所提到的,在实施例,环或“同心带”可以包括变化的结构,其中,每个结构具有处于0和2 π 之间的相移。每条同心带将由提供相同的0至2 π 相移的结构组成,但将具有提供所需相位剖面的变化的带宽度。透镜上每个位置处的所需相移为:

$$[0064] \quad 2\pi * ((d * n_{\text{高}}) \text{ MOD } \lambda_0),$$

[0065] 其中,d为结构与光检测器的中心之间的距离, $n_{\text{高}}$ 是衬底的折射率,并且MOD λ_0 是除以波长之后的余数。此处应注意,距离d是穿过衬底的3D距离。相移方程确定了焦点,并且因而,在实施例,应该在考虑了晶片或者衬底的厚度的情况下再计算。在实施例,透镜的形状(即,环或者带的尺寸)通常可以不同,其取决于晶片厚度,正如将取决于透镜与光检测器之间的距离而使用具有不同焦距的透镜。

[0066] 在实施例,可以由上述方程(衬底厚度、折射率等的函数)确定每条带的宽度,并且可以以每个0至2 π 相位不连续性为开始和结束。在实施例,带宽度将随着每个同心环而

减小(如图5A和图5B中所见,也如图4中所见),其中,接近中心的环具有较宽的环尺寸。在实施例中,将由可以具有最小值为1(沿径向方向)且无最大值的入射光斑尺寸确定带的实际数目。

[0067] 继续参照图5B的示例,其中示出了六个不同结构,包括100%Si 520、以及100%SiO₂ 545。在它们之间是具有不同比率的Si和SiO₂二者的填充率的结构,其中用暗灰色表示Si,并且用白色表示SiO₂,如针对结构525(大部分为Si,具有六个切入Si中的矩形“孔”)、530(大部分为切入Si框架中的SiO₂矩形“孔”)、535(与530相反,大部分为Si)、以及540(与525相反,大部分为SiO₂,具有六个小矩形Si柱)所示的。因而,六个结构实际上包括三对嵌套的相反对,其中,520为全Si并且与它配对的一方545为全SiO₂,并且接下来,下一个内部对525和540均具有由另一者包围的一种介质的六个小柱,并且接下来,下一个内部对535和530均具有由另一者包围的一种介质的六个大柱。因此,并非将这些认为是4或者6个离散的结构,而是可以将它们概念化为从100%Si(顶部图像)至100%SiO₂(底部图像)的Si/SiO₂填充率的连续体。在其它示例中,在顶部的两个结构520和525之间可以存在较小的孔,或者在底部的两个结构540和545之间可以存在较小的柱,等等。因而,在实施例中,Si-至-SiO₂过渡的总体“图案”可以在每条带内重复,尽管柱/孔的严格的尺寸将可能是不同的。

[0068] 应注意,在图5B中,每条带的中心侧上较暗的颜色表示高Si(低SiO₂)填充率结构,如由从结构520延伸的虚线所示,并且每条带的外侧的较浅的灰色(例如,由从结构545延伸的虚线所示)表示高SiO₂(低Si)填充率结构。于是,在每个环的边缘处,在全Si结构和全SiO₂结构之间存在明显的不连续性。注意,中心的结构与其它带(从更多Si向更多SiO₂过渡)并无不同。还应注意,透镜的中心所使用的确切的结构(更多Si还是更多SiO₂)关系不大,从结构到结构的过渡才是重要的。

[0069] 参照图6,根据各种实施例的示例性光电子通信系统600。如图6中所示,可以生成光信号601,并且通过光纤或者空气通路605将光信号601发送至光耦合器610。光耦合器610可以将信号耦合到光接收器630的超颖表面透镜621中,超颖表面透镜621可以通过衬底623对光信号进行聚焦,并且将光信号聚焦到PD或者其它光学设备625上,如上所述。然后,PD或者光学设备(例如,照相机)625可以将光信号转换为电信号635,并且将电信号635输出到另一个电气设备(未示出)。应注意,三个元件621、623和635(统称为630)一起包括根据各种实施例的示例性光接收器,如通过将这三个元件映射到图1的示图中的元件而在图6中示出的,如所示。

[0070] 以下所描述的图7A和图7B示出了根据各种实施例的用于制造或者制作光接收器的示例性过程。

[0071] 参照图7A,呈现了根据各种实施例的用于制造电路封装的过程的操作流程的总体视图。可以例如使用典型的300mm半导体工具集中的标准工具集通过各种制造装置和方法来执行过程700A,如以上所提到的。过程700A可以包括框710至730。在替代的实施例中,过程700A可以具有更多或更少的操作,并且可以按不同的次序执行所述操作中的一些操作。

[0072] 过程700A可以开始于框710,其中,可以提供具有顶表面和底表面的层。从框710,过程700A可以前进至框720,其中,可以在所述层的顶表面上提供光传感器。例如,光传感器可以是光检测器、较大光学设备的一部分或者元件、或者另一个光电子装置。从框720,过程700A可以前进至框730,其中,可以例如通过刻蚀来处理所述层的底表面,以使得所述层的

底表面可以将到达光传感器的顶部的入射光通过所述层聚焦到光传感器上。在框730,过程700A可以终止。

[0073] 参照图7B,呈现了根据各种实施例的用于制造光电子装置的替代过程700B的操作流程的总体视图。如过程700A的情况,可以例如使用典型的300mm半导体工具集中的标准工具集通过各种制造装置和方法来执行过程700B。过程700B可以包括框740至760。在替代的实施例中,过程700B可以具有更多或更少的操作,并且可以按不同的次序执行所述操作中的一些操作。

[0074] 过程700B可以开始于框740,其中,可以提供具有第一侧和第二侧的装置。从框740,过程700B可以前进至框750,其中,可以在所述装置的第一侧上提供光电子设备。例如,光电子设备可以是光传感器或照相机。从框750,过程700B可以前进至框760,其中,可以处理所述装置的第二侧,以包括由低折射率材料包围的一组高折射率纳米结构,所述纳米结构包括直径变化的圆柱形台面和凹陷中的一个或多个。例如,高折射率纳米结构可以由硅制成,并且周围的低折射率材料可以是空气或者二氧化硅之一。在框760,过程700B可以终止

[0075] 现在参照图8,其中示出了根据各种实施例的适合于实践本公开的计算机设备的框图。如所示,计算机设备800可以包括一个或多个处理器802、以及系统存储器804。每个处理器802可以包括一个或多个处理器核、以及硬件加速器805。硬件加速器805的示例可以包括但不限于编程的现场可编程门阵列(FPGA)。在实施例中,处理器802还可以包括存储器控制器(未示出)。在实施例中,系统存储器804可以包括任何已知的易失性或者非易失性存储器。

[0076] 另外,计算机设备800可以包括大容量存储设备806(例如,固态驱动器)、输入/输出设备接口808(与诸如鼠标器、光标控制器、显示设备(包括触敏屏幕)等各种输入/输出设备接口连接)以及通信接口810(例如,网络接口卡、调制解调器等,其包括具有诸如图1中所示的光电子接收器的光电子模块)。在实施例中,通信接口810可以支持有线或者无线通信,包括近场通信。可以经由系统总线812(其可以表示一条或多条总线)将所述元件互相耦合。在多条总线的情况下,可以通过一个或多个总线桥(未示出)将它们桥接。

[0077] 这些元件中的每个元件可以执行本领域中公知的其常规功能。具体而言,可以采用系统存储器804和大容量存储设备806来存储操作系统、一个或多个应用、和/或各种软件实施的部件(它们被统称为计算逻辑822)的编程指令的可执行代码的工作拷贝和永久拷贝。实施计算逻辑822的编程指令可以包括处理器802所支持的汇编指令或者可以被编译成这种指令的高级语言,例如,C。在实施例中,可以在硬件加速器805中实施计算逻辑中的一些计算逻辑。在实施例中,可以在硬件加速器805中实施计算逻辑822的部分,例如,计算逻辑822的与编译器的运行时环境相关联的部分。

[0078] 可以在工厂、或者在现场例如通过诸如压缩磁盘(CD)的分布式介质(未示出)、或者通过通信接口810(来自分布式服务器(未示出))将用于配置硬件加速器805的编程指令或者比特流的可执行代码的永久拷贝放置到永久大容量存储设备806和/或硬件加速器805中。尽管为了易于理解,执行并入了本公开的断言性计算教导以提高嵌套循环的流水线操作和/或并行执行的所生成的代码的编译器和硬件加速器被示为位于同一计算设备上,在替代的实施例中,编译器和硬件加速器可以位于不同计算设备上。

[0079] 这些元件810-812的数目、性能和/或容量可以变化,取决于示例性计算机设备800的使用意图,例如,示例性计算机设备800是智能电话、平板电脑、超级本、便携式电脑、服务器、机顶盒、游戏控制器、还是照相机等。另外这些元件810-812的构成是公知,并且因此将不再进一步描述。

[0080] 最后,计算设备800可以包括光电子系统850,其可以包括具有光接收器854的光学设备852。在各种实施例中,光电子系统850可以被配置为与图6的光电子系统600类似,并且光接收器854可以被配置为与图6的光接收器630类似,并且可以包括根据各种实施例的超颖表面透镜,其与图6的超颖表面透镜621类似(或者基本相同)。

[0081] 以下提供了本文所公开的技术的例示性示例。所述技术的实施例可以包括以下所描述的示例中的任何一个或多个、以及任何组合。

[0082] 示例

[0083] 示例1可以包括一种光电子装置,包括:衬底,其具有第一侧和与第一侧相对的第二侧;设置在衬底的第一侧上的光检测器,光检测器用于将光信号转换成电信号;以及刻蚀到衬底的第二侧中的电介质超颖表面透镜,电介质超颖表面透镜用于采集入射光并且通过衬底将入射光聚焦到光检测器上。

[0084] 示例2可以包括示例1、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,电介质超颖表面透镜用于从光纤接收入射光。

[0085] 示例3可以包括示例2的装置,其中,入射光包括高速光信号。

[0086] 示例4可以包括示例1、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,入射光的光斑尺寸是光检测器的直径的至少两倍。

[0087] 示例5可以包括示例4、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,选择光检测器的直径,以减小光检测器的电容。

[0088] 示例6可以包括示例4、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,入射光的光斑尺寸是从100至1000微米。

[0089] 示例7可以包括示例6、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,光检测器的直径是从2至100微米。

[0090] 示例8可以包括示例1、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,电介质超颖表面透镜具有与衬底的第二侧相邻的第一侧、以及与第一侧相对的第二侧,第二侧具有平面表面。

[0091] 示例9可以包括示例1、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,电介质超颖表面透镜包括亚波长纳米结构的阵列,以实现处于0和 2π 之间的入射光的相移。

[0092] 示例10可以包括示例9、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,衬底包括硅,并且亚波长纳米结构的阵列包括由低折射率材料包围的高折射率硅特征。

[0093] 示例11可以包括示例10、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,低折射率材料为SiO₂或者空气之一。

[0094] 示例12可以包括示例10、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,高折射率硅特征包括柱或孔中的至少一个。

[0095] 示例13可以包括示例10、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,亚波长纳米结构的阵列包括多条同心带,每条带包括在带内具有变化的尺寸的柱和/或孔。

[0096] 示例14可以包括示例10、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,由下式确定亚波长纳米结构的高度,

[0097] 高度 $\geq \lambda_0 / \Delta n$

[0098] 其中, λ_0 是入射光在空气中的波长,并且

[0099] Δn 是硅结构和低折射率材料之间的折射率之差。

[0100] 示例15可以包括示例10、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,由下式确定亚波长纳米结构的间距,

[0101] 间距 $\leq \lambda_0 / n_{\text{高}}$

[0102] 其中, λ_0 是入射光在空气中的波长,并且

[0103] $n_{\text{高}}$ 是高折射率材料的折射率。

[0104] 示例16可以包括示例1、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,电介质超颖表面透镜还用于将入射光聚焦,以使得趋于大量的光量被衍射到光检测器中。

[0105] 示例17可以包括示例1、和/或本文中的任何其它示例的装置,其中,衬底具有高折射率,并且对处于入射光的波长的光进行低吸收或者不吸收。

[0106] 示例18可以包括一种光通信系统,包括:光信号源,其发送高速光信号;耦合到光信号源的光纤;光耦合器,其耦合到光纤以接收高速光信号,并且将高速光信号耦合到光电子装置;以及光电子装置,包括:在其上提供光电子设备的第一侧;以及与第一侧相对的第二侧,第二侧包括由低折射率材料包围的一组高折射率纳米结构,所述光电子装置用于接收高速光信号,并且输出电子信号。

[0107] 示例19可以包括示例18、和/或本文中任何其它示例的光通信系统,还包括被通信耦合到光电子装置以接收电信号的电路。

[0108] 示例20可以包括示例19、和/或本文中任何其它示例的光通信系统,其中,高折射率纳米结构由硅制成,并且周围的低折射率材料是空气或者二氧化硅之一。

[0109] 示例21可以包括示例20、和/或本文中任何其它示例的光通信系统,其中,高折射率纳米结构包括矩形台面和凹陷中的一个或多个。

[0110] 示例22可以包括示例20、和/或本文中任何其它示例的光通信系统,其中,光电子设备是光传感器或者照相机之一。

[0111] 示例23可以包括制造电路封装的方法,包括:

[0112] 提供具有顶表面和底表面的层;在所述层的顶表面上提供光传感器;以及处理所述层的底表面,以将入射光通过所述层聚焦到光传感器上。

[0113] 示例24可以包括示例23、和/或本文中任何其它示例的方法,其中,所述处理包括刻蚀所述层的底表面,以形成亚波长纳米特征的阵列。

[0114] 示例25可以包括示例24、和/或本文中任何其它示例的方法,其中,亚波长纳米特征的阵列包括至少两个同心环,每个环包括多个高折射率柱或孔结构,所述柱或孔结构在每个环内具有变化的尺寸。

[0115] 示例26可以包括示例23、和/或本文中任何其它示例的方法,其中,处理所述层的底表面包括形成亚波长纳米结构的阵列,以实现处于0和 2π 之间的入射光的相移。

[0116] 示例27可以包括示例26、和/或本文中任何其它示例的方法,其中,所述层包括硅,并且亚波长纳米结构的阵列包括由低折射率材料包围的高折射率硅特征。

[0117] 示例28可以包括示例27、和/或本文中任何其它示例的方法,其中,低折射率材料为SiO₂或者空气之一。

[0118] 示例29可以包括示例27、和/或本文中任何其它示例的方法,其中,高折射率硅特征包括柱或孔中的至少一个。

[0119] 示例30可以包括示例27、和/或本文中任何其它示例的方法,其中,由下式确定亚波长纳米结构的高度,

[0120] 高度 $\geq \lambda_0 / \Delta n$

[0121] 其中, λ_0 是入射光在空气中的波长,并且

[0122] Δn 是硅结构和低折射率材料之间的折射率之差。

[0123] 示例31可以包括示例27、和/或本文中任何其它示例的方法,其中,由下式确定亚波长纳米结构的间距,

[0124] 间距 $\leq \lambda_0 / n_{\text{高}}$

[0125] 其中, λ_0 是入射光在空气中的波长,并且

[0126] $n_{\text{高}}$ 是高折射率材料的折射率。

[0127] 示例32可以包括示例23、和/或本文中任何其它示例的方法,其中,处理所述层的底表面以将入射光聚焦,以使得趋于大量的光量被衍射到光传感器上。

[0128] 示例33可以包括一种制造设备,包括:用于提供具有顶表面和底表面的层的单元;用于在所述层的顶表面上提供光传感器的单元;以及用于处理所述层的底表面以将入射光通过所述层聚焦到光传感器上的单元。

[0129] 示例34可以包括示例33、和/或本文中任何其它示例的制造设备,用于处理的单元包括用于刻蚀所述层的底表面以形成亚波长纳米特征的阵列的单元。

[0130] 示例35可以包括示例34、和/或本文中任何其它示例的制造设备,其中,亚波长纳米特征的阵列包括至少两个同心环,每个环包括多个高折射率柱或孔结构,所述柱或孔结构在每个环内具有变化的尺寸。

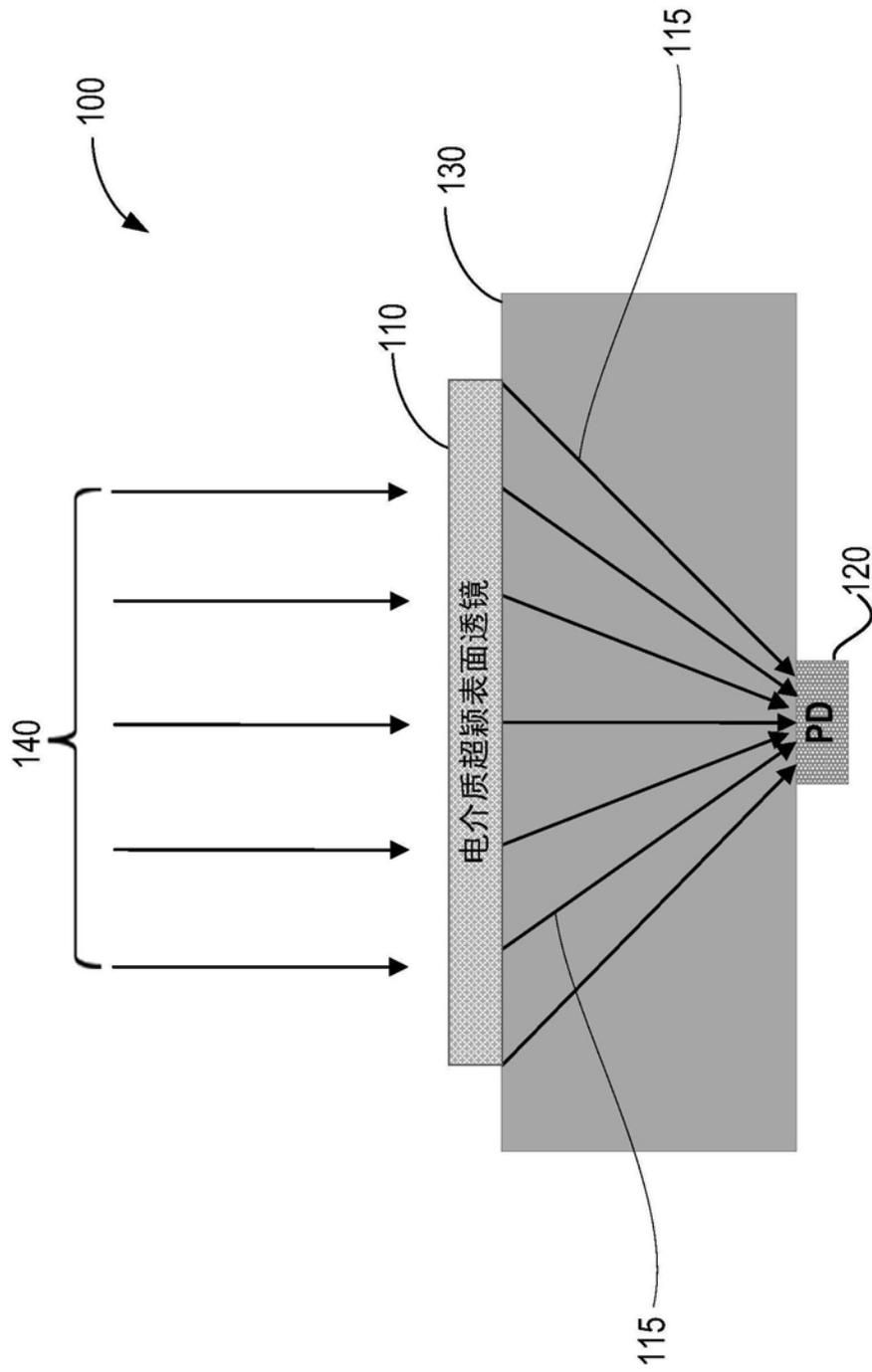


图1

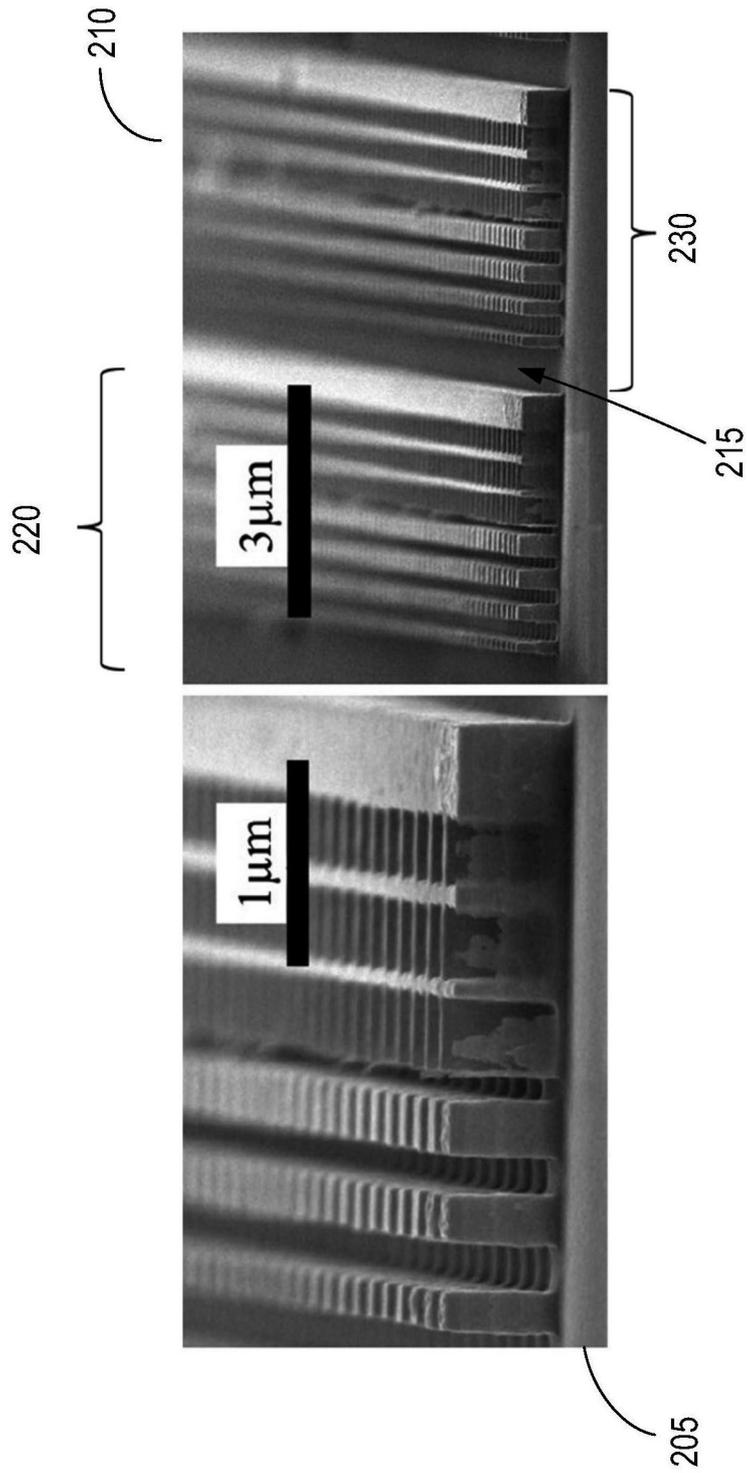


图2

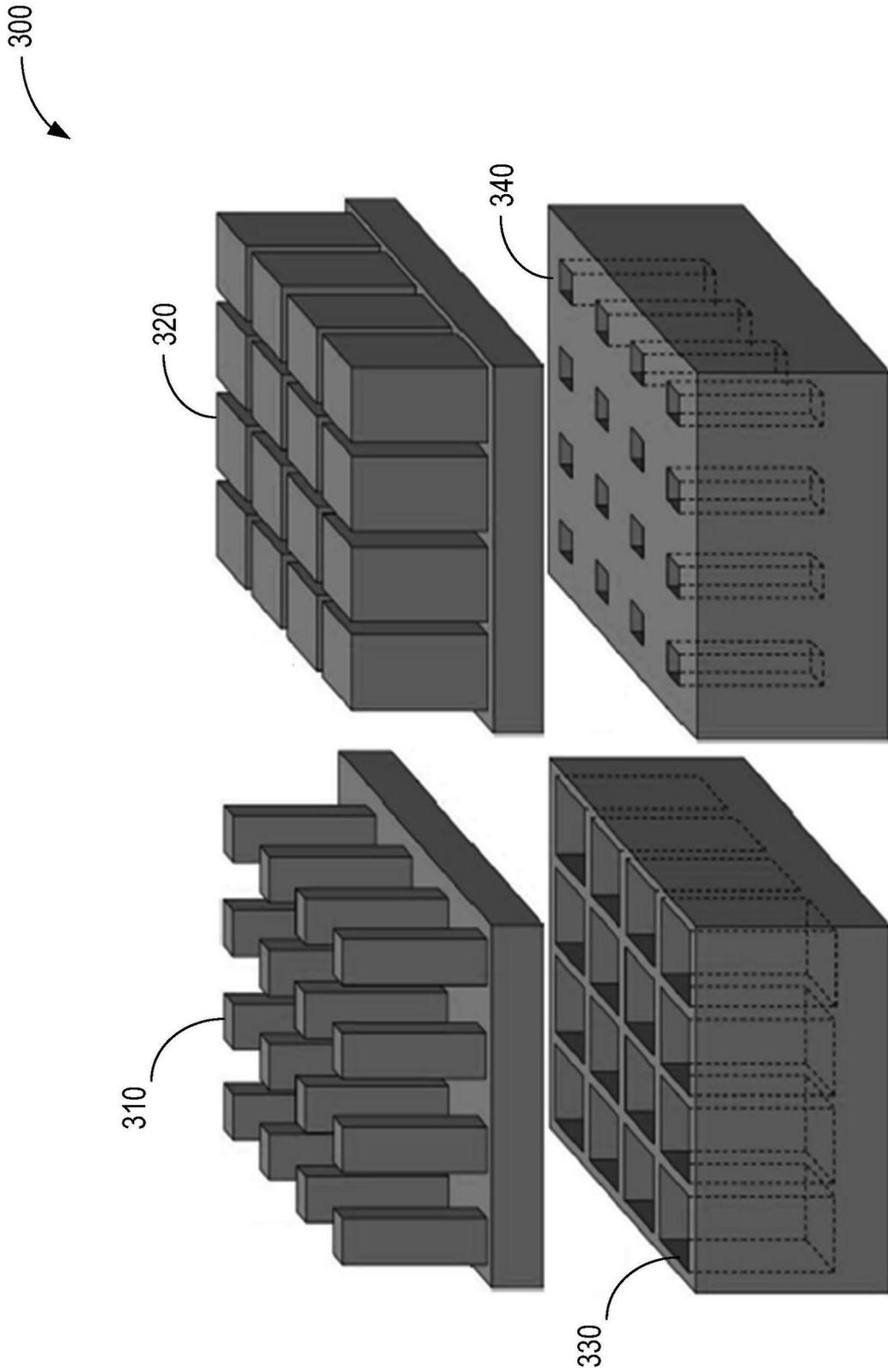


图3

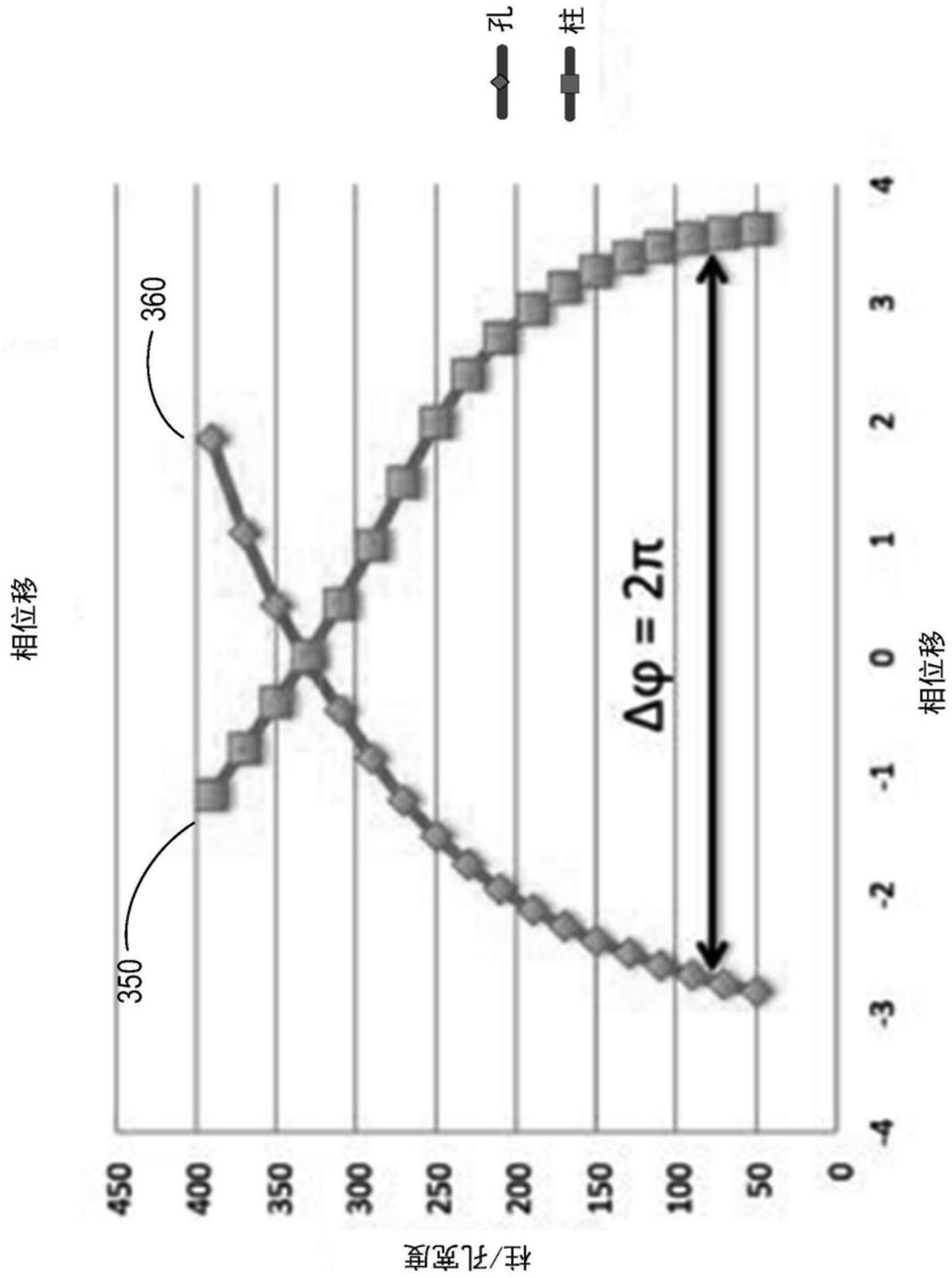


图3A

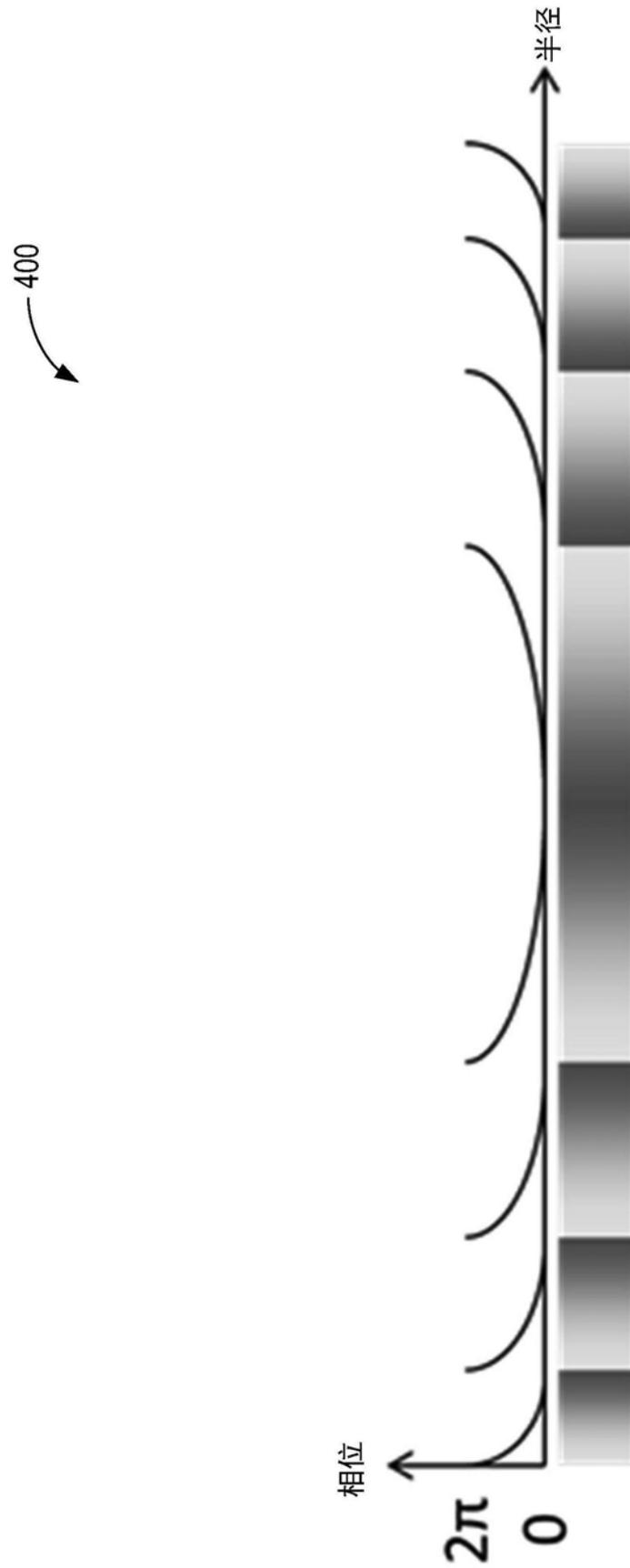


图4

500

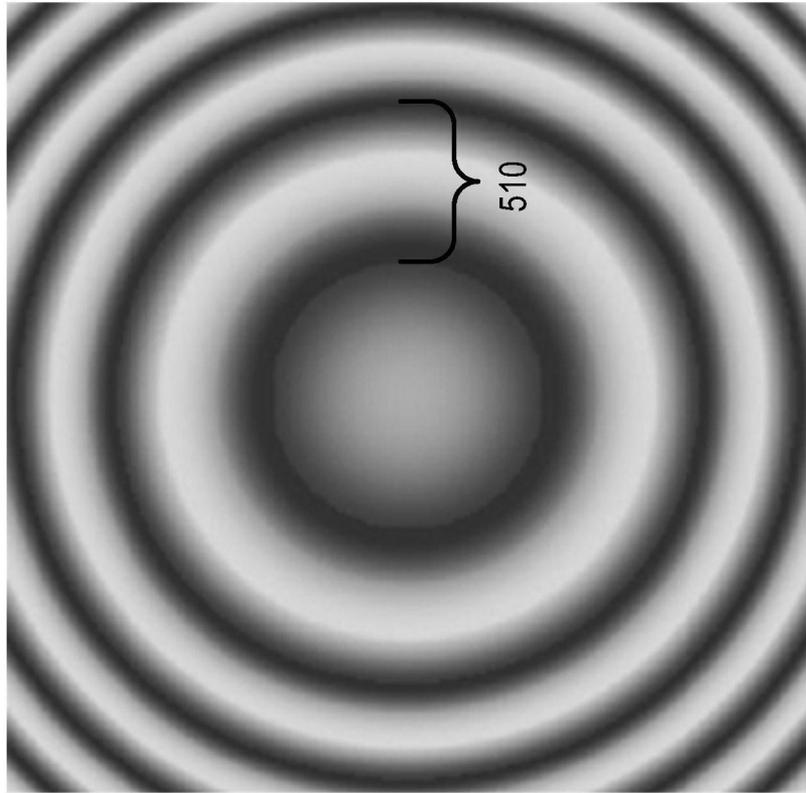


图5A

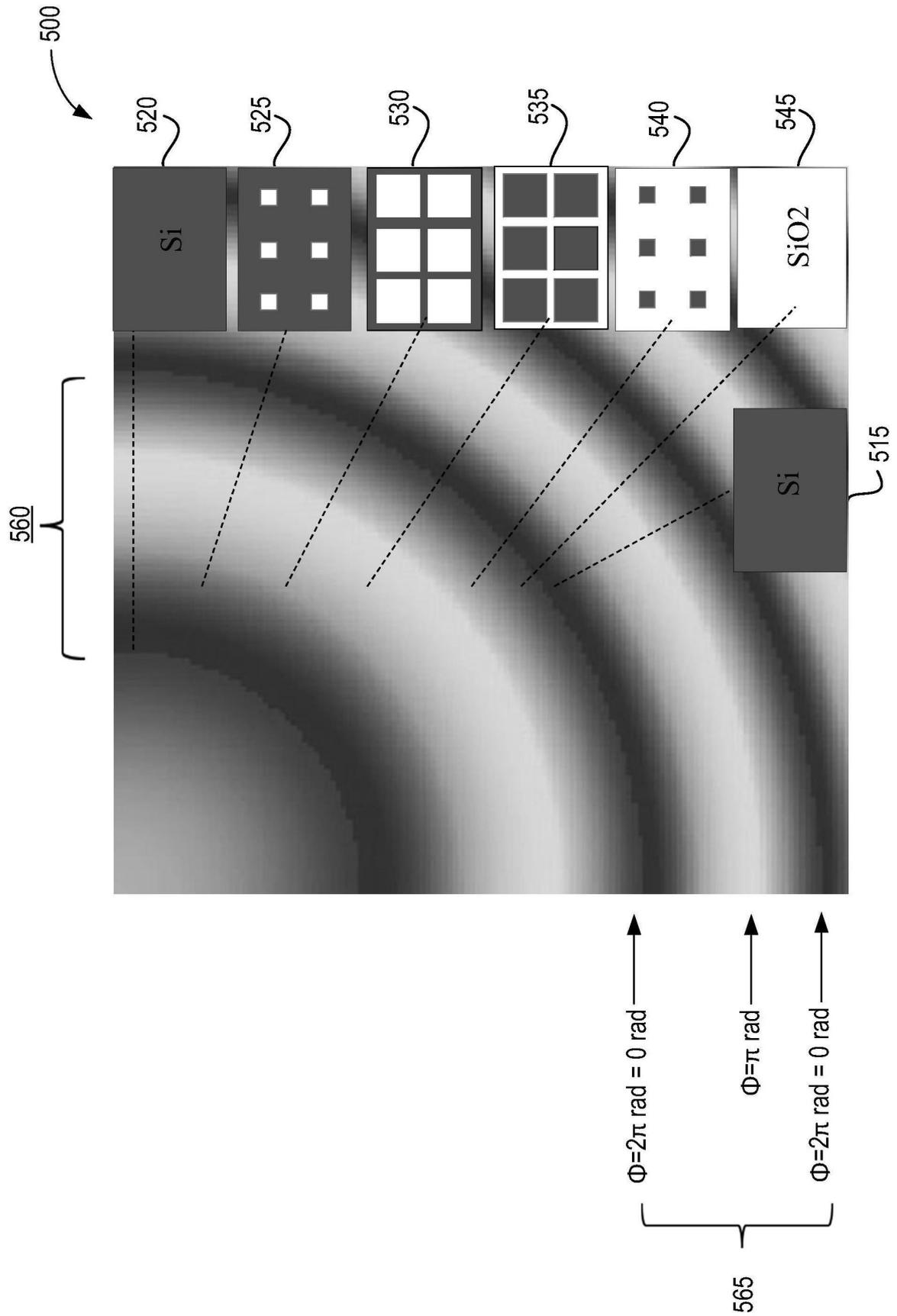


图5B

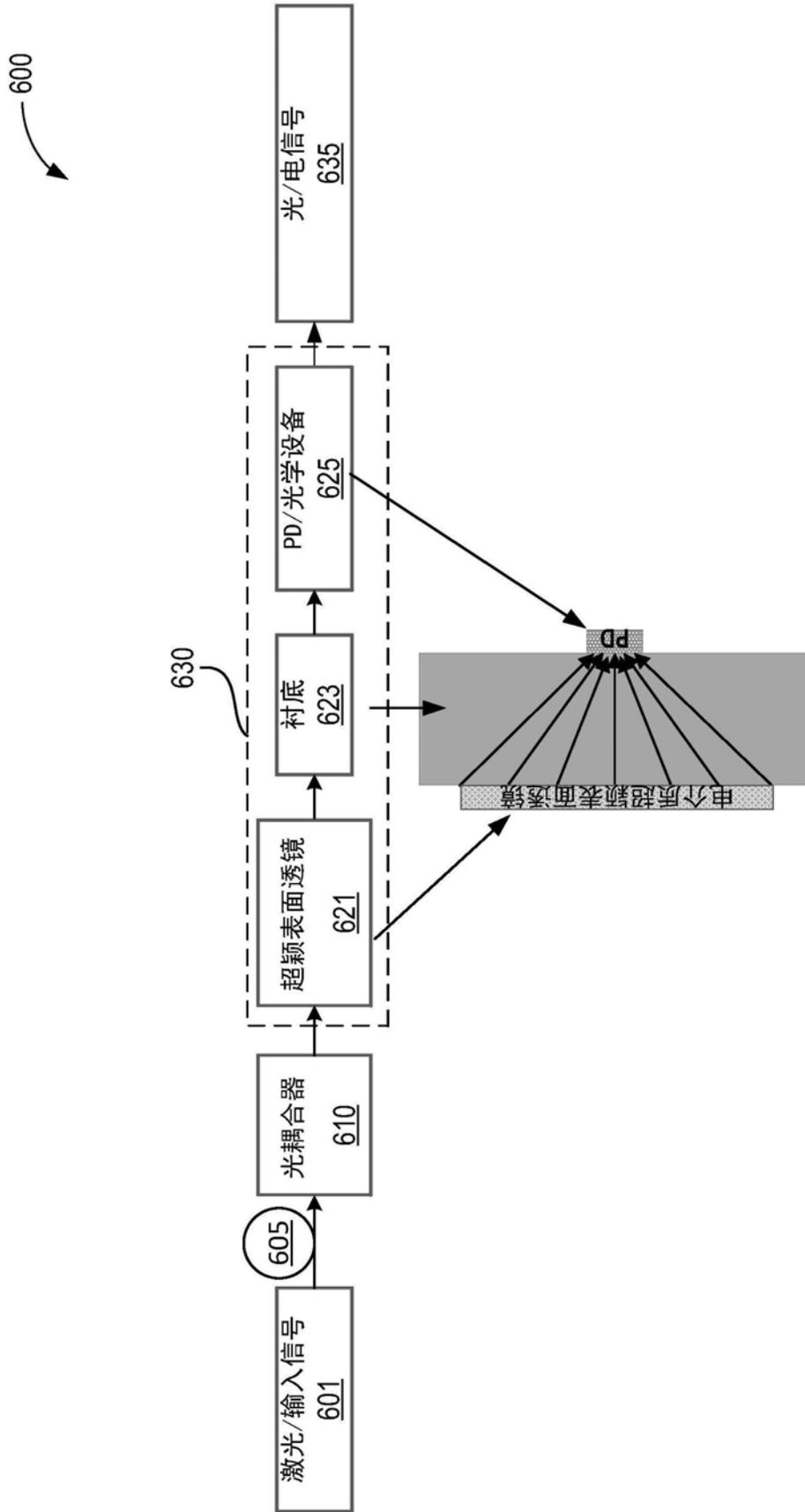


图6

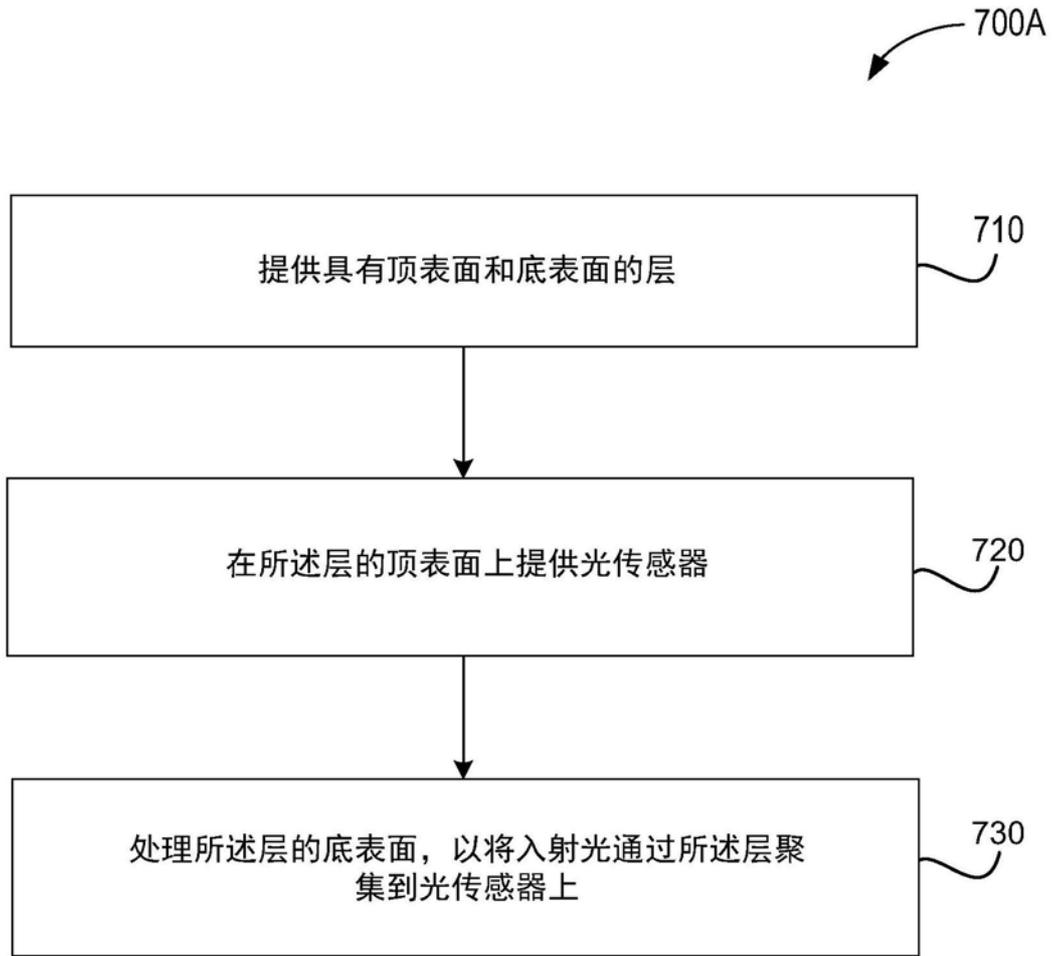


图7A

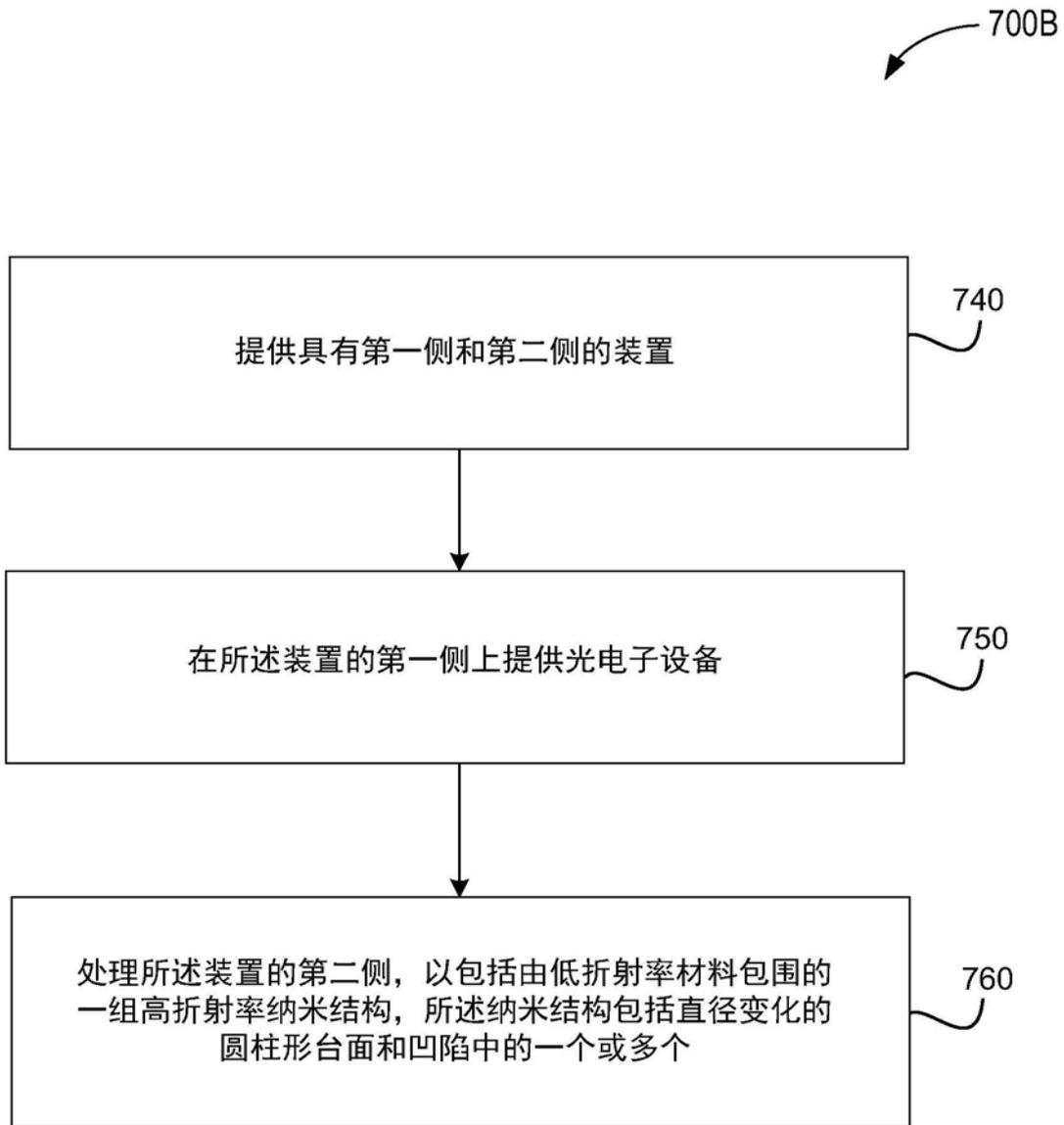


图7B

800

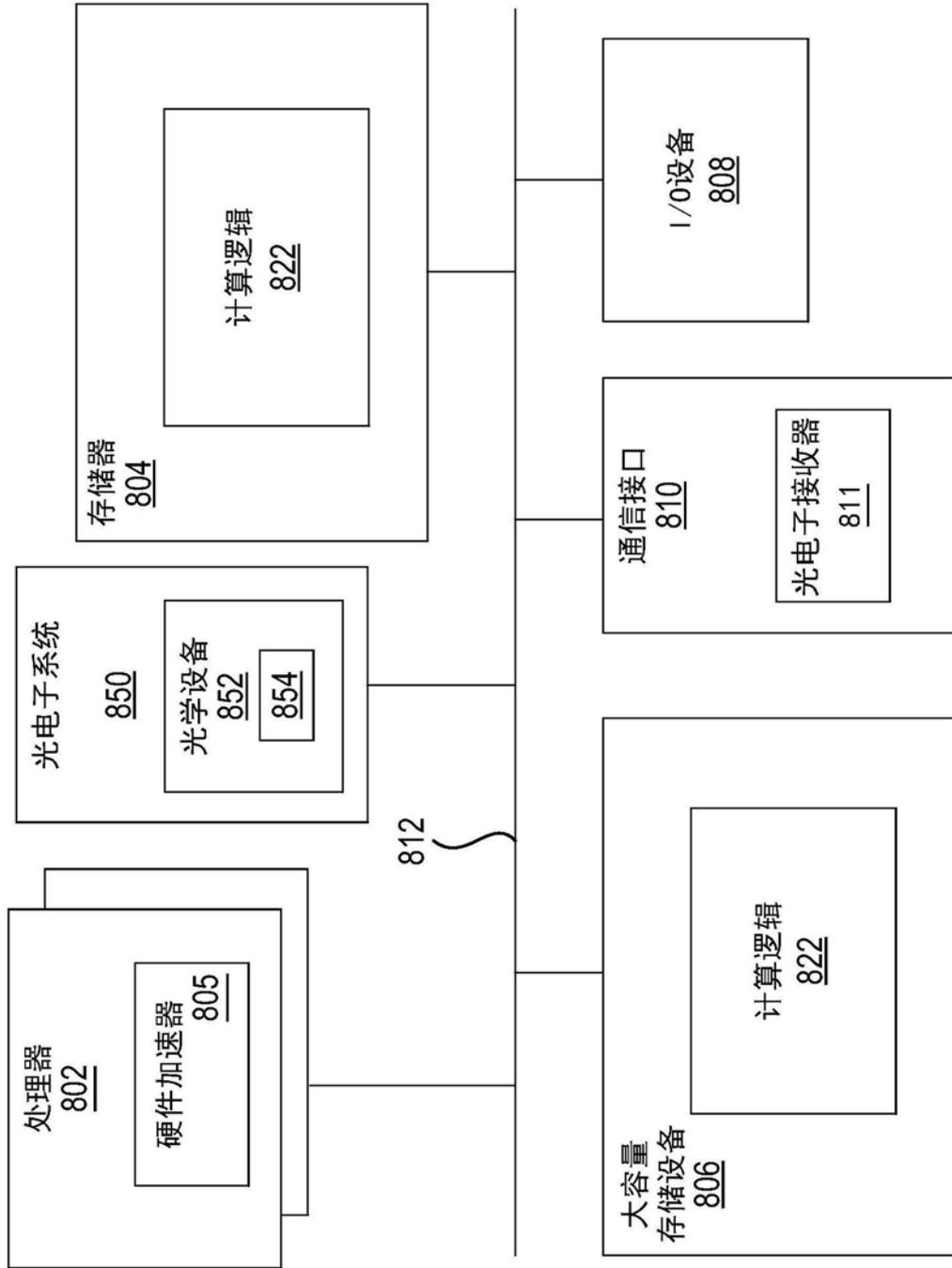


图8