(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112740412 A
(43)申请公布日 2021.04.30

(21)申请号 201980059390.0
(22)申请日 2019.08.14
(30)优先权数据
62/729,820 2018.09.11 US
16/436,794 2019.06.10 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2021.03.11
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2019/046536 2019.08.14
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2020/055537 EN 2020.03.19
(71)申请人 脸谱科技有限责任公司
地址 美国加利福尼亚州
(72)发明人 威廉·帕德里克·亨利
詹姆斯·罗纳德·博纳
加雷思·瓦伦丁
(74)专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262
代理人 韩辉峰 杨明钊
(51)Int.Cl.
H01L 27/15(2006.01)
H01L 33/00(2006.01)
H01L 33/14(2006.01)
H01L 33/58(2006.01)

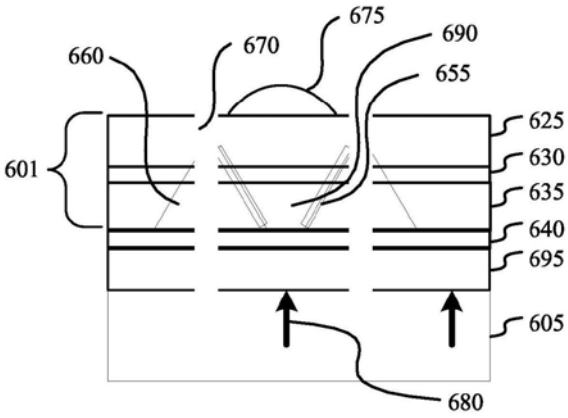
权利要求书2页 说明书20页 附图20页

(54)发明名称

用于晶圆到晶圆键合的台面形成

(57)摘要

本文公开了用于制造发光二极管(LED)的晶圆到晶圆键合技术。在一些实施例中,制造LED的方法包括蚀刻半导体材料以形成多个相邻的台面形。半导体材料包括一个或更多个外延层。该方法还包括在相邻的台面形之间的间隙内形成钝化层,并将基底晶圆键合到半导体材料的第一表面。



CN 112740412 A

1.一种方法,包括:

蚀刻半导体材料以形成多个相邻的台面形,所述半导体材料包括一个或更多个外延层;

在所述相邻的台面形之间的间隙内形成钝化层;和

将基底晶圆键合到所述半导体材料的第一表面。

2.根据权利要求1所述的方法,还包括从所述半导体材料的第二表面移除衬底,其中,所述半导体材料的第二表面与所述半导体材料的第一表面相对;和

图案化每对所述相邻的台面形之间的沟槽以形成多个发光二极管。

3.根据权利要求2所述的方法,还包括在所述半导体材料的第二表面的对应于所述多个发光二极管中的一个的一部分上形成透镜。

4.根据权利要求2所述的方法,还包括在所述半导体材料的第二表面上形成结构以提高自发辐射率,其中,所述结构对应于所述多个发光二极管中的一个。

5.根据权利要求1所述的方法,还包括在所述半导体材料上形成第一触点,其中,所述第一触点具有第一极性,并且在形成所述多个相邻的台面形之前或之后形成所述第一触点。

6.根据权利要求5所述的方法,还包括形成第二触点,其中,所述第二触点具有与所述第一触点的第一极性相反的第二极性。

7.根据权利要求6所述的方法,其中,所述第二触点是分布式触点或大面积触点中的至少一种。

8.根据权利要求1所述的方法,还包括,在将所述基底晶圆键合到所述半导体材料的第一表面之前:

平坦化所述半导体材料的第一表面和所述钝化层;和

在所述半导体材料的第一表面和所述钝化层上沉积键合层,

其中,所述基底晶圆经由所述键合层键合到所述半导体材料的第一表面。

9.根据权利要求8所述的方法,其中,通过金属到金属键合将所述基底晶圆键合到所述键合层。

10.根据权利要求8所述的方法,其中,通过共晶键合将所述基底晶圆键合到所述键合层。

11.根据权利要求8所述的方法,其中,通过氧化物键合将所述基底晶圆键合到所述键合层。

12.根据权利要求8所述的方法,其中,通过阳极键合、热压键合、紫外线键合或熔融键合中的至少一种来将所述基底晶圆键合到所述键合层。

13.根据权利要求1所述的方法,还包括在所述相邻的台面形之间的间隙内形成所述钝化层之前,在每个所述相邻的台面形的侧壁上沉积反射层。

14.根据权利要求1所述的方法,其中,所述半导体材料依次包括n型层、量子阱层和p型层。

15.根据权利要求1所述的方法,还包括,在将所述基底晶圆键合到所述半导体材料的第一表面之前:

在所述半导体材料的第一表面和所述钝化层上沉积接触层;和

在所述接触层上沉积键合层，

其中，所述基底晶圆经由所述接触层和所述键合层键合到所述半导体材料的第一表面。

16.根据权利要求15所述的方法，其中，所述键合层和所述接触层由不同的金属制成。

17.根据权利要求15所述的方法，其中，所述键合层和所述接触层由相同的金属制成。

18.根据权利要求1所述的方法，其中，所述相邻的台面形中的每一个具有非竖直侧壁。

19.根据权利要求1所述的方法，其中，所述相邻的台面形中的每一个具有抛物线形状。

20.根据权利要求1所述的方法，其中，所述基底晶圆包括多个驱动电路，并且所述方法还包括在将所述基底晶圆键合到所述半导体材料的第一表面的同时，将所述多个驱动电路与所述相邻的台面形对准。

21.根据权利要求2所述的方法，还包括粗糙化所述半导体材料的第二表面的对应于所述多个发光二极管中的一个的一部分。

22.根据权利要求2所述的方法，其中，通过将激光束聚焦在所述衬底和所述半导体材料之间的交界面处来移除所述衬底。

23.根据权利要求2所述的方法，其中，通过光刻来图案化所述沟槽。

用于晶圆到晶圆键合的台面形成

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2019年6月10日提交的美国专利申请第16/436,794号和2018年9月11日提交的美国临时专利申请第62/729,820号的优先权。美国专利申请第16/436,794号和第62/729,820号在此通过引用以其整体并入本文。

[0003] 背景

[0004] 发光二极管(LED)将电能转化为光能。在半导体LED中,光通常是通过半导体层中电子和空穴的复合产生的。LED领域的一个挑战是尽可能多地向所需方向提取发射光。可以使用各种方法来提高LED的效率,例如调整半导体层的形状,使半导体层的表面粗糙化,以及使用额外的光学器件来重定向或聚焦光。

[0005] 概述

[0006] LED可以形成一维阵列或二维阵列。可以使用各种制造方法,例如晶圆到晶圆键合(wafer-to-wafer bonding)或拾取和放置(pick-and-place)技术。在晶圆到晶圆键合中,具有外延层的LED晶圆可以倒装键合到具有驱动电路的基底晶圆(base wafer)上。在两个晶圆被键合之后,单个LED被切单(singulate)。晶圆到晶圆键合允许制造比拾取和放置技术更小的LED,因为不需要拾取、放置和键合单个LED。例如,可以通过晶圆到晶圆键合来制造芯片直径低至1μm的LED。然而,相关技术的晶圆到晶圆键合方法可能遭受低光提取效率。

[0007] 本公开总体上涉及用于制造LED的晶圆到晶圆键合。在一些实施例中,制造LED的方法包括蚀刻半导体材料以形成多个相邻的台面形(mesa shape)。半导体材料包括一个或更多个外延层。该方法还包括在相邻的台面形之间的间隙内形成钝化层(passivation layer),并将基底晶圆键合到半导体材料的第一表面。

[0008] 该方法还可以包括从半导体材料的第二表面移除衬底,其中半导体材料的第二表面与半导体材料的第一表面相对,并且图案化每对相邻的台面形之间的沟槽(trench)以形成多个LED。该方法还可以包括在半导体材料的第二表面的对应于多个LED中的一个的一部分上形成透镜。替代地或附加地,该方法可以包括形成半导体材料的第二表面的结构以提高自发辐射率(spontaneous emission rate),其中该结构对应于多个LED中的一个。

[0009] 可选地或附加地,该方法还可以包括在半导体材料上形成第一触点,其中第一触点具有第一极性,并且在形成多个相邻的台面形之前或之后形成第一触点。该方法还可以包括形成第二触点,其中第二触点具有与第一触点的第一极性相反的第二极性。第二触点可以是分布式触点和/或大面积触点。

[0010] 替代地或附加地,该方法还可以包括,在将基底晶圆键合到半导体材料的第一表面之前,平坦化半导体材料的第一表面和钝化层,并且在半导体材料的第一表面上沉积键合层(bonding layer),其中基底晶圆经由键合层键合到半导体材料的第一表面。可以通过金属到金属键合将基底层键合到键合层。替代地或附加地,可以通过共晶键合(eutectic bonding)将基底层键合到键合层。替代地或附加地,可以通过氧化物键合将基底层键合到键合层。替代地或附加地,可以通过阳极键合、热压键合、紫外线键合和/或熔融键合将基底层键合到键合层。

[0011] 替代地或附加地，该方法还可以包括，在相邻的台面形之间的间隙内形成钝化层之前，在每个相邻的台面形的侧壁上沉积反射层。替代地或附加地，该方法还可以包括，在将基底晶圆键合到半导体材料的第一表面之前，在半导体材料的第一表面和钝化层上沉积接触层，以及在接触层上沉积键合层。基底晶圆可以经由接触层和键合层键合到半导体材料的第一表面。键合层和接触层可以由不同的金属或相同的金属制成。

[0012] 半导体材料可以依次包括n型层、量子阱层和p型层。每个相邻的台面形可以具有非竖直侧壁。例如，每个相邻的台面形可以具有抛物线形状。基底晶圆可以包括多个驱动电路，并且该方法还可以包括在将基底晶圆键合到半导体材料的第一表面的同时，将多个驱动电路与相邻的台面形对准。

[0013] 该方法还可以包括粗糙化半导体材料的第二表面的对应于多个LED中的一个的一部分。可以通过将激光束聚焦在衬底和半导体材料之间的交界面(interface)处来移除衬底。可以通过光刻来图案化沟槽。

[0014] 本概述既不意图识别所要求保护的主题的关键特征或基本特征，也不意图单独用于确定所要求保护的主题的范围。应当参考本公开的整个说明书的适当部分、任何或所有附图以及每项权利要求来理解主题。前述内容连同其他特征和示例一起将在下面的说明书、权利要求和附图中被更详细地描述。

[0015] 附图简述

[0016] 下面参考以下附图详细描述说明性实施例：

[0017] 图1是根据某些实施例的包括近眼显示器的示例人工现实系统环境的简化框图；

[0018] 图2是包括各种传感器的简化示例近眼显示器的透视图；

[0019] 图3用于实现本文公开的一些示例的头戴式显示器(HMD)设备形式的示例近眼显示器的透视图；和

[0020] 图4是用于实现本文公开的一些示例的示例近眼显示器的示例电子系统的简化框图；

[0021] 图5A-图5F示出了用于制造LED的晶圆到晶圆键合的方法；

[0022] 图6A-图6J示出了用于制造LED的另一种晶圆到晶圆键合的方法；

[0023] 图7A-图7G示出了用于制造LED的又一种晶圆到晶圆键合的方法；

[0024] 图8A-图8C示出了将基底晶圆键合到半导体晶圆的各种方法；和

[0025] 图9A-图9D示出了形成用于晶圆到晶圆键合的表面的方法。

[0026] 详细描述

[0027] 在以下的描述中，为了解释的目的，阐述了具体细节以便提供对公开的示例的透彻理解。然而，很明显，没有这些具体细节也可以实施各种示例。例如，设备、系统、结构、组件、方法和其他部件可以以框图形式被示出为部件，以避免在不必要的细节上模糊示例。在其他情况下，公知的设备、过程、系统、结构和技术可以在没有必要细节的情况下被示出，以避免模糊示例。附图和描述并不旨在是限制性的。在本公开中使用的术语和表达被用作描述性术语而非限制性术语，并且在使用这些术语和表达时无意排除所示出和描述的特征或其部分的任何等同物。

[0028] 如本文所使用的，可见光可以指波长在大约400nm和大约750nm之间的光。近红外(NIR)光可以指波长在约750nm和大约2500nm之间的光。期望的红外(IR)波长范围可以指可

以由合适的IR传感器(例如,互补金属氧化物半导体(CMOS)或电荷耦合器件(CCD)传感器)检测的IR光的波长范围,例如在830nm和860nm之间或在930nm和980nm之间。

[0029] 也如本文所使用的,衬底可以指其中可以刻有啁啾光栅阵列的介质。啁啾光栅可以指其间距和取向角在光栅范围内变化的光栅。衬底可以包括一种或更多种类型的介电材料,例如玻璃、石英、塑料、聚合物、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、晶体或陶瓷。至少一种类型的衬底材料可以对可见光和NIR光透明。衬底的厚度范围可以从例如小于约1mm到小于约10mm。如本文所使用的,如果光束可以以高透射率(例如大于60%、75%、80%、90%、95%、98%、99%或更高)穿过材料,则材料对于光束可以是“透明的”,其中光束的一小部分(例如小于40%、25%、20%、10%、5%、2%、1%或更少)可以被材料散射、反射或吸收。透射率(即,透射度(transmissivity))可以由波长范围内的适光加权或未加权的平均透射率来表示,或者由波长范围(例如可见波长范围)内的最低透射率来表示。或者,衬底可以指适于生长半导体材料的介质。例如,衬底可以由蓝宝石制成,并且半导体材料可以由GaN制成。可用于衬底的材料的其它非限制性示例包括GaN、硅、SiC、GaAs和GaP。

[0030] 诸如虚拟现实(VR)、增强现实(AR)或混合现实(MR)系统的人工现实系统可以包括被配置为经由电子或光学显示器向用户呈现内容的近眼显示器(例如,头戴式装置(headset)或眼镜),并且在一些情况下,还可以包括被配置为生成内容以呈现给用户并且将生成的内容提供给近眼显示器以用于呈现的控制台。为了改善用户与所呈现内容的交互,控制台可以基于用户正在观看的位置来修改或生成内容,这可以通过跟踪用户的眼睛来确定。跟踪眼睛可以包括跟踪眼睛瞳孔的位置和/或形状,和/或眼睛的旋转位置(凝视方向)。根据至少一个实施例,为了跟踪眼睛,近眼显示器可以使用安装在近眼显示器上或近眼显示器内的光源来照亮用户眼睛的表面。然后,包括在近眼显示器附近的成像设备(例如,照相机)可以捕获由用户眼睛的各种表面反射的光。从用户眼睛的角膜镜面反射的光可能导致所捕获的图像中的“亮斑(glint)”。一种照亮眼睛以看到瞳孔和亮斑的方法是使用发光二极管(LED)的二维(2D)阵列。可以使用诸如质心算法(centroiding algorithm)的技术来精确地确定在所捕获的图像中眼睛上的亮斑的位置,然后可以基于在所捕获的图像中亮斑相对于眼睛的已知特征(例如,瞳孔中心)的位置来确定眼睛的旋转位置(例如,凝视方向)。

[0031] 图1是根据某些实施例的包括近眼显示器120的示例人工现实系统环境100的简化框图。图1所示的人工现实系统环境100可以包括近眼显示器120、外部成像设备150和输入/输出接口140,它们各自耦合到控制台110。尽管图1示出了包括一个近眼显示器120、一个外部成像设备150和一个输入/输出接口140的示例人工现实系统环境100,但人工现实系统环境100中可以包括任何数量的这些部件,或者可以省略任何部件。例如,可以有多个近眼显示器120,这些近眼显示器120由与控制台110通信的一个或更多个外部成像设备150监控。在替代配置中,人工现实系统环境100中可以包括不同的或附加的部件。

[0032] 近眼显示器120可以是向用户呈现内容的头戴式显示器。由近眼显示器120呈现的内容示例包括一个或更多个图像、视频、音频或其某种组合。在一些实施例中,音频可以经由外部设备(例如,扬声器和/或头戴式耳机)呈现,该外部设备从近眼显示器120、控制台110或两者接收音频信息,并基于音频信息来呈现音频数据。近眼显示器120可以包括一个或更多个刚性主体,该刚性主体可以刚性或非刚性地彼此联接。刚性主体之间的刚性联接

可以使所联接的刚性主体充当单个刚性实体。刚性主体之间的非刚性联接可以允许刚性主体相对于彼此移动。在各种实施例中，近眼显示器120可以以任何合适的形状因子(包括一副眼镜)来被实现。附加地，在各种实施例中，本文描述的功能可以用在头戴式装置中，该头戴式装置组合近眼显示器120外部环境的图像和从控制台110(或从生成并向用户提供内容的任何其他控制台)接收的内容。因此，近眼显示器120以及本文描述的用于眼睛跟踪的方法可以用生成的内容(例如，图像、视频、声音等)来增强近眼显示器120外部的物理现实世界环境的图像从而向用户呈现增强现实。

[0033] 在各种实施例中，近眼显示器120可以包括显示电子器件122、显示光学器件124、一个或更多个定位器126、一个或更多个位置传感器128、眼睛跟踪单元130和惯性测量单元(IMU)132中的一个或更多个。在各种实施例中，近眼显示器120可以省略这些元件中的任何一个，或者可以包括附加元件。附加地，在一些实施例中，近眼显示器120可以包括组合了结合图1描述的各种元件的功能的元件。

[0034] 显示电子器件122可以根据从控制台110接收的数据向用户显示图像。在各种实施例中，显示电子器件122可以包括一个或更多个显示面板，例如液晶显示器(LCD)，有机发光二极管(OLED)显示器，微型LED显示器，有源矩阵OLED显示器(AMOLED)，透明OLED显示器(TOLED)或某种其他显示器。例如，在近眼显示器120的一个实施方式中，显示电子器件122可以包括前TOLED面板、后显示面板以及在前显示面板和后显示面板之间的光学部件(例如，衰减器、偏振器或者衍射或光谱膜)。显示电子器件122可以包括发射诸如红色、绿色、蓝色、白色或黄色的主导颜色的光的子像素。在一些实施方式中，显示电子器件122可以通过由二维面板产生的立体效果来显示3D图像，以创建图像深度的主观感知。例如，显示电子器件122可以包括分别位于用户的左眼和右眼前方的左显示器和右显示器。左显示器和右显示器可以呈现相对于彼此水平偏移的图像的副本，以产生立体效果(即，观看图像的用户对图像深度的感知)。

[0035] 在某些实施例中，显示光学器件124可以光学地(例如，使用光学波导和耦合器)显示图像内容，或者放大从显示电子器件122接收的图像光，校正与图像光相关联的光学误差，并将校正后的图像光呈现给近眼显示器120的用户。在各种实施例中，显示光学器件124可以包括一个或更多个光学元件。示例光学元件可以包括衬底、光学波导、光圈(aperture)、费涅尔透镜、凸透镜、凹透镜、滤光器或者可以影响从显示电子器件122发射的图像光的任何其他合适的光学元件。显示光学器件124可以包括不同光学元件以及机械联接的组合，以保持组合中的光学元件的相对间距和定向。显示光学器件124中的一个或更多个光学元件可以具有光学涂层，例如抗反射涂层、反射涂层、滤光涂层或不同光学涂层的组合。

[0036] 显示光学器件124对图像光的放大可以允许显示电子器件122比更大的显示器物理上更小、重量更轻并且消耗更少的功率。附加地，放大可以增加显示内容的视场。在一些实施例中，显示光学器件124可以具有比显示光学器件124和显示电子器件122之间间距大的有效焦距，以放大由显示电子器件122投射的图像光。显示光学器件124对图像光的放大倍数可以通过从显示光学器件124增加光学元件或移除光学元件来被调节。

[0037] 显示光学器件124可以被设计成校正一种或更多种类型的光学误差，例如二维光学误差、三维光学误差或其组合。二维误差可以包括二维中出现的光学像差(optical

aberration)。二维误差的示例类型可以包括桶形失真、枕形失真、纵向色差和横向色差。三维误差可以包括三维中出现的光学误差。三维误差的示例类型可以包括球面像差(spherical aberration)、彗形像差(comatic aberration)、像场弯曲(field curvature)和像散(astigmatism)。在一些实施例中,被提供给显示电子器件122用于显示的内容可以被预失真,并且当显示光学器件124从显示电子器件122接收基于预失真内容生成的图像光时,显示光学器件124可以校正失真。

[0038] 定位器126可以是相对于彼此并相对于近眼显示器120上的参考点位于近眼显示器120上特定位置的对象。控制台110可以识别由外部成像设备150捕获的图像中的定位器126,以确定人工现实头戴式装置的位置、定向或两者。定位器126可以是发光二极管(LED)、锥体棱镜(corner cube reflector)、反射标记、与近眼显示器120操作的环境形成对比的一种类型的光源或者它们的一些组合。在定位器126是有源部件(例如,LED或其他类型的发光器件)的实施例中,定位器126可以发射可见光波段(例如,约380nm至750nm)中的光、红外(IR)波段(例如,约750nm至1mm)中的光、紫外波段(例如,约10nm至约380nm)中的光、电磁波谱的另一部分中的光或电磁波谱中各部分的任意组合中的光。

[0039] 在一些实施例中,定位器126可以位于近眼显示器120的外表面下方。在定位器126和近眼显示器120外部的实体(例如,外部成像设备150,观看近眼显示器120的外表面的用户)之间的近眼显示器120的一部分对于由定位器126发射或反射的光的波长可以是透明的,或者足够薄以基本上不衰减由定位器126发射或反射的光。在一些实施例中,近眼显示器120的外表面或其他部分在可见光波段可以是不透明的,但是在IR波段是透明的,并且定位器126可以在外表面下方并且可以发射IR波段的光。

[0040] 外部成像设备150可以基于从控制台110接收的校准参数生成慢速校准数据。慢速校准数据可以包括显示定位器126的观察位置的一个或更多个图像,这些图像可被外部成像设备150检测到。外部成像设备150可以包括一个或更多个照相机、一个或更多个摄像机、能够捕获包括一个或更多个定位器126的图像的任何其他设备、或者它们的一些组合。附加地,外部成像设备150可以包括一个或更多个滤光器(例如,用于提高信噪比)。外部成像设备150可以被配置成检测从外部成像设备150的视场中的定位器126发射或反射的光。在定位器126包括无源元件(例如,回射器(retroreflector))的实施例中,外部成像设备150可以包括照亮一些或所有定位器126的光源,定位器126可以将光回射到外部成像设备150中的光源。可以将慢速校准数据从外部成像设备150传送到控制台110,并且外部成像设备150可以从控制台110接收一个或更多个校准参数,用于调整一个或更多个成像参数(例如,焦距、焦点、帧速率、传感器温度、快门速度、孔径等)。

[0041] 位置传感器128可以响应于近眼显示器120的运动而生成一个或更多个测量信号。位置传感器128的示例可以包括加速度计、陀螺仪、磁力计、其他运动检测或误差校正传感器或者它们的一些组合。例如,在一些实施例中,位置传感器128可以包括测量平移运动(例如,向前/向后、向上/向下、或向左/向右)的多个加速度计和测量旋转运动(例如,俯仰、偏航、或滚动)的多个陀螺仪。在一些实施例中,各个位置传感器可以彼此正交定向。

[0042] IMU 132可以是基于从一个或更多个位置传感器128接收的测量信号生成快速校准数据的电子器件。位置传感器128可以位于IMU 132的外部、IMU 132的内部或这两种位置的某种组合。基于来自一个或更多个位置传感器128的一个或更多个测量信号,IMU 132可

以生成快速校准数据，该快速校准数据指示相对于近眼显示器120的初始位置的近眼显示器120的估计位置。例如，IMU 132可以对从加速度计接收的测量信号在时间上进行积分，以估计速度向量，并且对速度向量在时间上进行积分，以确定近眼显示器120上参考点的估计位置。替代地，IMU 132可以向控制台110提供采样的测量信号，控制台110可以确定快速校准数据。虽然参考点通常可以被定义为空间中的点，但是在各种实施例中，参考点也可以被定义为近眼显示器120内的点(例如，IMU 132的中心)。

[0043] 眼睛跟踪单元130可以包括被配置为捕获眼睛跟踪数据的一个或更多个成像设备，控制台110中的眼睛跟踪模块118可以使用该数据来跟踪用户的眼睛。眼睛跟踪数据可以指由眼睛跟踪单元130输出的数据。示例眼睛跟踪数据可以包括由眼睛跟踪单元130捕获的图像或者从由眼睛跟踪单元130捕获的图像导出的信息。眼睛跟踪可以指确定眼睛相对于近眼显示器120的位置，包括眼睛的定向和定位。例如，眼睛跟踪模块118可以基于由眼睛跟踪单元130捕获的眼睛图像来输出眼睛的俯仰和偏航。在各种实施例中，眼睛跟踪单元130可以测量由眼睛反射的电磁能量，并将测量的电磁能量传送给眼睛跟踪模块118，然后眼睛跟踪模块118可以基于测量的电磁能量来确定眼睛的位置。例如，眼睛跟踪单元130可以测量电磁波，例如可见光、红外光、无线电波、微波、电磁波谱的任何其他部分中的波，或者由用户的眼睛反射的它们的组合。

[0044] 眼睛跟踪单元130可以包括一个或更多个眼睛跟踪系统。眼睛跟踪系统可以包括对一只或更多只眼睛进行成像的成像系统，并且可以可选地包括光发射器，该光发射器可以生成指向眼睛的光，使得由眼睛反射的光可以被成像系统捕获。例如，眼睛跟踪单元130可以包括发射可见光谱或红外光谱中的光的相干光源(例如，VCSEL)，以及捕获由用户眼睛反射的光的照相机。作为另一个示例，眼睛跟踪单元130可以捕获由微型雷达单元发射的反射无线电波。眼睛跟踪单元130可以使用低功率光发射器，其以不会伤害眼睛或引起身体不适的频率和强度发射光。眼睛跟踪单元130可以被布置成提高眼睛跟踪单元130捕获的眼睛图像中的对比度，同时降低眼睛跟踪单元130消耗的总功率(例如，降低由眼睛跟踪单元130中包括的光发射器和成像系统消耗的功率)。例如，在一些实施方式中，眼睛跟踪单元130可以消耗小于100毫瓦的功率。

[0045] 在一些实施例中，眼睛跟踪单元130可以包括一个光发射器和一个照相机来跟踪用户的每只眼睛。在其他实施例中，眼睛跟踪单元130可以包括多个光发射器和一个照相机来跟踪用户的每只眼睛。眼睛跟踪单元130还可以包括不同的眼睛跟踪系统，它们一起操作以提供改进的眼睛跟踪精度和响应性。例如，眼睛跟踪单元130可以包括具有快速响应时间的快速眼睛跟踪系统和具有较慢响应时间的慢速眼睛跟踪系统。快速眼睛跟踪系统可以频繁地测量眼睛以捕获由眼睛跟踪模块118用来确定眼睛相对于参考眼睛位置的位置的数据。慢速眼睛跟踪系统可以独立地测量眼睛以捕获由眼睛跟踪模块118用来确定参考眼睛位置的数据，而不参考先前确定的眼睛位置。由慢速眼睛跟踪系统捕获的数据可以允许眼睛跟踪模块118比从由快速眼睛跟踪系统捕获的数据确定的眼睛位置更精确地确定参考眼睛位置。在各种实施例中，慢速眼睛跟踪系统可以以比快速眼睛跟踪系统更低的频率向眼睛跟踪模块118提供眼睛跟踪数据。例如，慢速眼睛跟踪系统可能工作频率较低，或者具有较慢的响应时间以节省功率。

[0046] 眼睛跟踪单元130可以被配置成估计用户眼睛的定向。眼睛的定向可以对应于用

户在近眼显示器120内的凝视方向。用户眼睛的定向可以被定义为视网膜中央凹轴(foveal axis)的方向,视网膜中央凹轴是视网膜中央凹(fovea)(眼睛视网膜上感光细胞最集中的区域)与眼睛瞳孔中心之间的轴。通常,当用户的眼睛固定在一点上时,用户眼睛的视网膜中央凹轴与该点相交。眼睛的瞳孔轴可以被定义为穿过瞳孔中心并垂直于角膜表面(corneal surface)的轴。通常,即使瞳孔轴和视网膜中央凹轴在瞳孔中心相交,瞳孔轴也可能不直接与视网膜中央凹轴对准。例如,视网膜中央凹轴的取向可能相对于瞳孔轴横向偏离约-1°至8°,并且垂直偏离约±4°。因为视网膜中央凹轴是根据位于眼睛后部的视网膜中央凹来定义的,所以在一些眼睛跟踪实施例中,视网膜中央凹轴可能难以或不可能直接测量。相应地,在一些实施例中,可以检测瞳孔轴的取向,并且可以基于检测到的瞳孔轴来估计视网膜中央凹轴。

[0047] 通常,眼睛的移动不仅对应于眼睛的角度旋转,还对应于眼睛的平移、眼睛扭转的变化和/或眼睛形状的变化。眼睛跟踪单元130还可以被配置成检测眼睛的平移,这可以是眼睛相对于眼窝的位置变化。在一些实施例中,可以不直接检测眼睛的平移,而是可以基于从检测到的角度取向的映射来近似。也可以检测对应于眼睛相对于眼睛跟踪单元的位置变化的眼睛平移。这种类型的平移可能例如由于用户头部上的近眼显示器120的位置的移动而发生。眼睛跟踪单元130还可以检测眼睛的扭转和眼睛围绕瞳孔轴的旋转。眼睛跟踪单元130可以使用检测到的眼睛扭转来估计视网膜中央凹轴相对于瞳孔轴的取向。眼睛跟踪单元130还可以跟踪眼睛形状的变化,该变化可以近似为倾斜(skew)或缩放线性变换或扭曲变形(例如,由于扭转变形)。眼睛跟踪单元130可以基于瞳孔轴的角度取向、眼睛的平移、眼睛的扭转和眼睛的当前形状的一些组合来估计视网膜中央凹轴。

[0048] 在一些实施例中,眼睛跟踪单元130可以包括多个发射器或至少一个发射器,其可以在眼睛的所有部分或一部分上投射结构光图案。当从偏置角度观看时,结构光图案可能由于眼睛的形状而失真。眼睛跟踪单元130还可以包括至少一个照相机,该照相机可以检测投射到眼睛上的结构光图案的失真(如果有的话)。照相机可以被定向在与发射器不同的到眼睛的轴上。通过检测眼睛表面上的结构光图案的变形,眼睛跟踪单元130可以确定被结构光图案照亮的眼睛部分的形状。因此,捕获的失真光图案可以指示眼睛被照亮部分的3D形状。因此,眼睛的定向可以从眼睛被照亮部分的3D形状中导出。眼睛跟踪单元130还可以基于由照相机捕获的失真的结构光图案的图像来估计瞳孔轴、眼睛的平移、眼睛的扭转和眼睛的当前形状。

[0049] 近眼显示器120可以使用眼睛的定向来例如,确定用户的瞳孔间距离(IPD)、确定凝视方向、引入深度线索(例如模糊用户主视线之外的图像)、收集关于VR媒体中的用户交互的启发信息(heuristics)(例如,根据经受的刺激在任何特定主体、对象或帧上花费的时间)、实现部分地基于至少一只用户眼睛的定向的一些其他功能、或者实现上述的一些组合。因为可以确定用户双眼的定向,所以眼睛跟踪单元130可以确定用户正在看哪里。例如,确定用户凝视的方向可以包括基于所确定的用户左眼和右眼的定向来确定集合点(point of convergence)。集合点可以是用户眼睛的两个视网膜中央凹轴相交的点(或者是两个轴之间最近的点)。用户凝视的方向可以是穿过集合点和用户眼睛瞳孔之间中点的线的方向。

[0050] 输入/输出接口140可以是允许用户向控制台110发送动作请求的设备。动作请求可以是执行特定动作的请求。例如,动作请求可以是开始或结束应用,或者是在应用内执行

特定动作。输入/输出接口140可以包括一个或更多个输入设备。示例输入设备可以包括键盘、鼠标、游戏控制器、手套、按钮、触摸屏或用于接收动作请求并将接收到的动作请求传送到控制台110的任何其他合适的设备。由输入/输出接口140接收的动作请求可以被传送到控制台110，控制台110可以执行对应于所请求动作的动作。在一些实施例中，输入/输出接口140可以根据从控制台110接收的指令向用户提供触觉反馈。例如，当接收到动作请求时，或者当控制台110已经执行了所请求的动作并将指令传送给输入/输出接口140时，输入/输出接口140可以提供触觉反馈。

[0051] 控制台110可以根据从外部成像设备150、近眼显示器120和输入/输出接口140中的一个或更多个接收的信息，向近眼显示器120提供内容以呈现给用户。在图1所示的示例中，控制台110可以包括应用储存器112、头戴式装置跟踪模块114、虚拟现实引擎116和眼睛跟踪模块118。控制台110的一些实施例可以包括与结合图1描述的模块不同的或附加的模块。下面进一步描述的功能可以以不同于这里描述的方式分布在控制台110的部件中。

[0052] 在一些实施例中，控制台110可以包括处理器和存储可由处理器执行的指令的非暂时性计算机可读存储介质。处理器可以包括并行执行指令的多个处理单元。计算机可读存储介质可以是任何存储器，例如硬盘驱动器、可移动存储器、或固态驱动器(例如，闪存或动态随机存取存储器(DRAM))。在各种实施例中，结合图1描述的控制台110的模块可以被编码为非暂时性计算机可读存储介质中的指令，当由处理器执行时，这些指令使得处理器执行下面进一步描述的功能。

[0053] 应用储存器112可以存储用于由控制台110执行的一个或更多个应用。应用可以包括一组指令，该组指令当由处理器执行时生成用于呈现给用户的内容。由应用生成的内容可以对经由用户眼睛的移动从用户接收的输入或者从输入/输出接口140接收的输入进行响应。应用的示例可以包括:游戏应用、会议应用、视频回放应用或其他合适的应用。

[0054] 头戴式装置跟踪模块114可以使用来自外部成像设备150的慢速校准信息来跟踪近眼显示器120的移动。例如，头戴式装置跟踪模块114可以使用来自慢速校准信息的观察到的定位器和近眼显示器120的模型来确定近眼显示器120的参考点的位置。头戴式装置跟踪模块114还可以使用来自快速校准信息的位置信息来确定近眼显示器120的参考点的位置。此外，在一些实施例中，头戴式装置跟踪模块114可以使用快速校准信息、慢速校准信息中的一部分或其某种组合来预测近眼显示器120的未来位置。头戴式装置跟踪模块114可以向VR引擎116提供近眼显示器120的估计或预测的未来位置。

[0055] 头戴式装置跟踪模块114可以使用一个或更多个校准参数来校准人工现实系统环境100，并且可以调整一个或更多个校准参数以降低确定近眼显示器120的位置时的误差。例如，头戴式装置跟踪模块114可以调整外部成像设备150的焦点，以获得在近眼显示器120上观察到的定位器的更准确的位置。此外，头戴式装置跟踪模块114执行的校准也可以考虑从IMU132接收的信息。附加地，如果对近眼显示器120的跟踪丢失(例如，外部成像设备150失去至少阈值数量定位器126的视线)，头戴式装置跟踪模块114可以重新校准一些或所有校准参数。

[0056] VR引擎116可以在人工现实系统环境100内执行应用，并且从头戴式装置跟踪模块114接收近眼显示器120的位置信息、近眼显示器120的加速度信息、近眼显示器120的速度信息、近眼显示器120的预测未来位置或者它们的某种组合。VR引擎116还可以从眼睛跟踪

模块118接收估计的眼睛位置和定向信息。基于接收到的信息,VR引擎116可以确定要提供给近眼显示器120用于呈现给用户的内容。例如,如果接收到的信息指示用户已经向左看,则VR引擎116可以为近眼显示器120生成反映(mirror)用户眼睛在虚拟环境中的移动的内容。附加地,VR引擎116可以响应于从输入/输出接口140接收的动作请求来执行在控制台110上执行的应用内的动作,并且向用户提供指示动作已经被执行的反馈。反馈可以是经由近眼显示器120的视觉或听觉反馈,或者经由输入/输出接口140的触觉反馈。

[0057] 眼睛跟踪模块118可以从眼睛跟踪单元130接收眼睛跟踪数据,并基于眼睛跟踪数据确定用户眼睛的位置。眼睛的位置可以包括相对于近眼显示器120或其任何元件的眼睛的定向、定位或两者。因为眼睛的旋转轴根据眼睛在眼窝中的定位而改变,所以确定眼睛在眼窝中的定位可以允许眼睛跟踪模块118更精确地确定眼睛的定向。

[0058] 在一些实施例中,眼睛跟踪单元130可以输出包括眼睛图像的眼睛跟踪数据,并且眼睛跟踪模块118可以基于图像确定眼睛的位置。例如,眼睛跟踪模块118可以存储由眼睛跟踪单元130捕获的图像与眼睛位置之间的映射,以从由眼睛跟踪单元130捕获的图像确定参考眼睛位置。替代地或附加地,眼睛跟踪模块118可以通过比较从中确定参考眼睛位置的图像和从中确定更新的眼睛位置的图像来确定相对于参考眼睛位置的更新的眼睛位置。眼睛跟踪模块118可以使用来自不同成像设备或其他传感器的测量结果来确定眼睛位置。例如,如上所述,眼睛跟踪模块118可以使用来自慢速眼睛跟踪系统的测量结果来确定参考眼睛位置,然后从快速眼睛跟踪系统确定相对于参考眼睛位置的更新的位置,直到基于来自慢速眼睛跟踪系统的测量结果来确定下一个参考眼睛位置为止。

[0059] 眼睛跟踪模块118还可以确定眼睛校准参数,以提高眼睛跟踪的精度和准确度。眼睛校准参数可以包括每当用户佩戴或调整近眼显示器120时都会改变的参数。示例眼睛校准参数可以包括眼睛跟踪单元130的部件和眼睛的一个或更多个部位(例如眼睛的中心、瞳孔、角膜边界或眼睛表面上的点)之间的估计距离。其他示例眼睛校准参数可以特定于特定用户,并且可以包括估计的平均眼睛半径、平均角膜半径、平均巩膜半径、眼睛表面上的特征图以及估计的眼睛表面轮廓。在来自近眼显示器120外部的光可以到达眼睛的实施例中(如在一些增强现实应用中),校准参数可以包括由于来自近眼显示器120外部的光的变化而导致的强度和色彩平衡的校正因子。眼睛跟踪模块118可以使用眼睛校准参数来确定由眼睛跟踪单元130捕获的测量值是否允许眼睛跟踪模块118确定准确的眼睛位置(本文也称为“有效测量值”)。眼睛跟踪模块118可能无法从中确定准确眼睛位置的无效测量值可能是由用户眨眼、调整头戴式装置或移除头戴式装置引起的,和/或可能是由近眼显示器120由于外部光而经历大于阈值的照明变化引起的。

[0060] 图2是包括各种传感器的简化示例近眼显示器200的透视图。近眼显示器200可以是图1的近眼显示器120的特定实现,并且可以被配置为作为虚拟现实显示器、增强现实显示器和/或混合现实显示器来操作。近眼显示器200可以包括框架205和显示器210。显示器210可以被配置为向用户呈现内容。在一些实施例中,显示器210可以包括显示电子器件和/或显示光学器件。例如,如上关于图1的近眼显示器120所述,显示器210可以包括LCD显示面板、LED显示面板或光学显示面板(例如,波导显示组件)。

[0061] 近眼显示器200还可以包括框架205上或框架205内的各种传感器250a、250b、250c、250d和250e。在一些实施例中,传感器250a-250e可以包括一个或更多个深度传感器、

运动传感器、位置传感器、惯性传感器或环境光传感器。在一些实施例中，传感器250a-250e可以包括一个或更多个图像传感器，其被配置为生成表示不同方向上的不同视场的图像数据。在一些实施例中，传感器250a-250e可以用作输入设备来控制或影响近眼显示器200的显示内容，和/或向近眼显示器200的用户提供交互式VR/AR/MR体验。在一些实施例中，传感器250a-250e也可以用于立体成像。

[0062] 在一些实施例中，近眼显示器200还可以包括一个或更多个照明器230，以将光投射到物理环境中。投射的光可以与不同的频带(例如，可见光、红外光、紫外光等)相关联，并且可以服务于各种目的。例如，照明器230可以在黑暗环境中(或者在具有低强度红外光、紫外光等的环境中)投射光，以帮助传感器250a-250e在黑暗环境内捕获不同对象的图像。在一些实施例中，照明器230可以用于将特定的光图案投射到环境中的对象上。在一些实施例中，照明器230可以用作定位器，例如上面参照图1描述的定位器126。

[0063] 在一些实施例中，近眼显示器200还可以包括高分辨率照相机240。照相机240可以捕获视场中的物理环境的图像。所捕获的图像可以例如由虚拟现实引擎(例如，图1的虚拟现实引擎116)处理，以将虚拟对象添加到所捕获的图像或者修改所捕获的图像中的物理对象，并且所处理的图像可以由用于AR或MR应用的显示器210显示给用户。

[0064] 本发明的实施例可以包括人工现实系统或结合人工现实系统来被实现。人工现实是一种在呈现给用户之前已经以某种方式进行了调整的现实形式，其可以包括例如虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、混合现实(mixed reality，MR)、混杂现实(hybrid reality)或其某种组合和/或衍生物。人工现实内容可以包括完全生成的内容或者与所捕获的(例如，现实世界)内容组合地生成的内容。人工现实内容可以包括视频、音频、触觉反馈、或其某种组合，且其中任何一个都可以在单个通道中或在多个通道中被呈现(例如向观看者产生三维效果的立体视频)。此外，在一些实施例中，人工现实还可以与应用、产品、附件、服务或其某种组合相关联，这些应用、产品、附件、服务或其某种组合用于例如在人工现实中创建内容和/或在人工现实中以其他方式被使用(例如在人工现实中执行活动)。提供人工现实内容的人工现实系统可以在各种平台上实现，这些平台包括连接到主计算机系统的头戴式显示器(HMD)、独立的HMD、移动设备或计算系统、或者能够向一个或更多个观看者提供人工现实内容的任何其他硬件平台。

[0065] 图3是头戴式显示器(HMD)设备300形式的示例近眼显示器的透视图，用于实现本文公开的一些示例近眼显示器(例如，近眼显示器120)。HMD设备300可以是例如虚拟现实(VR)系统、增强现实(AR)系统、混合现实(MR)系统或其一些组合的一部分。HMD设备300可以包括主体320和头带330。图3以透视图示出了主体320的顶侧323、前侧325和右侧327。头带330可以具有可调节或可延伸的长度。在HMD设备300的主体320和头带330之间可以有足够的空间，以允许用户将HMD设备300安装到用户的头上。在各种实施例中，HMD设备300可以包括附加的、更少的或不同的部件。例如，在一些实施例中，HMD设备300可以包括眼镜腿(eyeglass temples)和镜腿末端(temples tips)，而不是头带330。

[0066] HMD设备300可以向用户呈现包括具有计算机生成元素的物理、现实世界环境的虚拟和/或增强视图的媒体。由HMD设备300呈现的媒体的示例可以包括图像(例如，二维(2D)或三维(3D)图像)、视频(例如，2D或3D视频)、音频或其一些组合。图像和视频可以通过封装在HMD设备300的主体320中的一个或更多个显示组件(图3中未示出)呈现给用户的每只眼

睛。在各种实施例中，一个或更多个显示组件可以包括单个电子显示面板或多个电子显示面板(例如，用户的每只眼睛一个显示面板)。电子显示面板的示例可以包括，例如，液晶显示器(LCD)、有机发光二极管(OLED)显示器、无机发光二极管(ILED)显示器、微型LED显示器、有源矩阵有机发光二极管(AMOLED)显示器、透明有机发光二极管(TOLED)显示器、某种其他显示器或它们的一些组合。HMD设备300可以包括两个视窗(eye box)区域。

[0067] 在一些实施方式中，HMD设备300可以包括各种传感器(未示出)，例如深度传感器、运动传感器、位置传感器和眼睛跟踪传感器。这些传感器中的一些可以使用结构光图案进行感测。在一些实施方式中，HMD设备300可以包括用于与控制台通信的输入/输出接口。在一些实施方式中，HMD设备300可以包括虚拟现实引擎(未示出)，该虚拟现实引擎可以在HMD设备300内执行应用，并且从各种传感器接收HMD设备300的深度信息、位置信息、加速度信息、速度信息、预测的未来位置或其一些组合。在一些实施方式中，由虚拟现实引擎接收的信息可以用于向一个或更多个显示组件产生信号(例如，显示指令)。在一些实施方式中，HMD设备300可以包括定位器(未示出，例如定位器126)，定位器相对于彼此和相对于参考点位于主体320上的固定位置。每个定位器可以发射可由外部成像设备检测的光。

[0068] 图4是用于实现本文公开的一些示例的示例近眼显示器(例如，HMD设备)的示例电子系统400的简化框图。电子系统400可以用作上述HMD设备1000或其他近眼显示器的电子系统。在该示例中，电子系统400可以包括一个或更多个处理器410和存储器420。处理器410可以被配置成执行用于在多个部件处执行操作的指令，并且可以是例如通用处理器或适于在便携式电子设备内实现的微处理器。处理器410可以与在电子系统400内的多个部件通信地耦合。为了实现这种通信耦合，处理器410可以通过总线440与其他示出的部件进行通信。总线440可以是适于在电子系统400内传输数据的任何子系统。总线440可以包括多条计算机总线和附加电路以传输数据。

[0069] 存储器420可以耦合到处理器410。在一些实施例中，存储器420可以提供短期和长期存储，并且可以被分成若干个单元。存储器420可以是易失性的(例如静态随机存取存储器(SRAM)和/或动态随机存取存储器(DRAM))和/或非易失性的(例如只读存储器(ROM)、闪存等)。此外，存储器420可以包括可移动存储设备，例如安全数字(SD)卡。存储器420可以为电子系统400提供计算机可读指令、数据结构、程序模块和其他数据的存储。在一些实施例中，存储器420可以分布在不同的硬件模块中。一组指令和/或代码可以被存储在存储器420中。指令可以采取可以由电子系统400可执行的可执行代码的形式，和/或可以采取源代码和/或可安装代码的形式，当在电子系统400上(例如，使用各种通常可用的编译器、安装程序、压缩/解压缩实用程序等中的任何一种)编译和/或安装时，源代码和/或可安装代码可以采用可执行代码的形式。

[0070] 在一些实施例中，存储器420可以存储多个应用模块422至424，应用模块422至424可以包括任意数量的应用。应用的示例可以包括：游戏应用、会议应用、视频回放应用或其他合适的应用。这些应用可以包括深度感测功能或眼睛跟踪功能。应用模块422-424可以包括要由处理器410执行的特定指令。在一些实施例中，应用模块422-424中的某些应用或部分可以由其他硬件模块480执行。在某些实施例中，存储器420可以另外包括安全存储器，该安全存储器可以包括附加的安全控件，以防止对安全信息的复制或其他未授权的访问。

[0071] 在一些实施例中，存储器420可以包括加载在其中的操作系统425。操作系统425可

以可操作来启动由应用模块422-424提供的指令的执行和/或管理其他硬件模块480以及与无线通信子系统430的接口，无线通信子系统430可以包括一个或更多个无线收发器。操作系统425可以适于在电子系统400的组件上执行其他操作，包括线程管理(threading management)、资源管理、数据存储控制和其他类似功能。

[0072] 无线通信子系统430可以包括例如红外通信设备、无线通信设备和/或芯片组(例如Bluetooth®设备、IEEE 802.11设备、Wi-Fi设备、WiMax设备、蜂窝通信设施等)和/或类似的通信接口。电子系统400可以包括用于无线通信的、作为无线通信子系统430的一部分或者作为耦合到系统的任何部分的单独部件的一根或更多根天线434。根据期望的功能，无线通信子系统430可以包括单独的收发器，以与基站收发信台和其他无线设备以及接入点进行通信，这可以包括与不同的数据网络和/或网络类型(例如无线广域网(WWAN)、无线局域网(WLAN)或无线个域网(WPAN))进行通信。WWAN可以是例如WiMax(IEEE 802.16)网络。WLAN可以是例如IEEE 802.11x网络。WPAN可以是例如蓝牙网络、IEEE 802.15x或一些其他类型的网络。本文描述的技术也可以用于WWAN、WLAN和/或WPAN的任何组合。无线通信子系统430可以允许与网络、其他计算机系统和/或本文描述的任何其他设备交换数据。无线通信子系统430可以包括用于使用天线434和无线链路432发送或接收数据(例如HMD设备的标识符、位置数据、地理地图、热图、照片或视频)的装置。无线通信子系统430、处理器410和存储器420可以一起包括用于执行本文公开的一些功能的装置中的一个或更多个的至少一部分。

[0073] 电子系统400的实施例还可以包括一个或更多个传感器490。传感器490可以包括，例如，图像传感器、加速度计、压力传感器、温度传感器、接近度传感器(proximity sensor)、磁力计、陀螺仪、惯性传感器(例如，组合了加速度计和陀螺仪的模块)、环境光传感器、或者可操作来提供感测输出(sensory output)和/或接收感测输入的任何其他类似模块(例如深度传感器或位置传感器)。例如，在一些实现中，传感器490可以包括一个或更多个惯性测量单元(IMU)和/或一个或更多个位置传感器。IMU可以基于从一个或更多个位置传感器接收的测量信号来生成校准数据，该校准数据指示相对于HMD设备的初始位置的HMD设备的估计位置。位置传感器可以响应于HMD设备的运动而生成一个或更多个测量信号。位置传感器的示例可以包括但不限于，一个或更多个加速度计、一个或更多个陀螺仪、一个或更多个磁力计、检测运动的另一种合适类型的传感器、用于IMU的误差校正的一种类型的传感器或者其某种组合。位置传感器可以位于IMU的外部、IMU的内部或者这两种位置的某种组合。至少一些传感器可以使用结构光图案进行感测。

[0074] 电子系统400可以包括显示模块460。显示模块460可以是近眼显示器，并且可以向用户图形地呈现来自电子系统400的信息(例如图像、视频和各种指令)。这种信息可以从一个或更多个应用模块422-424、虚拟现实引擎426、一个或更多个其他硬件模块480、它们的组合或者(例如，通过操作系统425)用于为用户解析图形内容的任何其他合适的装置中得到。显示模块460可以使用液晶显示(LCD)技术、发光二极管(LED)技术(包括例如，OLED、ILED、mLED、AMOLED、TOLED等)、发光聚合物显示(LPD)技术或某种其他显示技术。

[0075] 电子系统400可以包括用户输入/输出模块470。用户输入/输出模块470可以允许用户向电子系统400发送动作请求。动作请求可以是执行特定动作的请求。例如，动作请求可以是开始或结束应用，或者是在应用内执行特定动作。用户输入/输出模块470可以包括

一个或更多个输入设备。示例输入设备可以包括触摸屏、触摸板、麦克风、按钮、拨号盘、开关、键盘、鼠标、游戏控制器、或者用于接收动作请求并将接收到的动作请求传送给电子系统400的任何其他合适的设备。在一些实施例中，用户输入/输出模块470可以根据从电子系统400接收的指令来向用户提供触觉反馈。例如，可以在接收到动作请求或者已经执行动作请求时提供触觉反馈。

[0076] 电子系统400可以包括照相机450，照相机450可以用于拍摄用户的照片或视频，例如，用于跟踪用户的眼睛位置。照相机450也可以用于拍摄环境的照片或视频，例如，用于VR、AR或MR应用。照相机450可以包括例如具有几百万或几千万像素的互补金属氧化物半导体(CMOS)图像传感器。在一些实现中，照相机450可以包括两个或更多个照相机，它们可以用于捕获3D图像。

[0077] 在一些实施例中，电子系统400可以包括多个其他硬件模块480。其他硬件模块480中的每一个可以是电子系统400内的物理模块。虽然其他硬件模块480中的每一个可以被永久地配置为结构，但是其他硬件模块480中的一些可以被临时配置为执行特定功能或者被临时激活。其他硬件模块480的示例可以包括，例如，音频输出和/或输入模块(例如，麦克风或扬声器)、近场通信(NFC)模块、可充电电池、电池管理系统、有线/无线电池充电系统等。在一些实施例中，其他硬件模块480的一个或更多个功能可以用软件实现。

[0078] 在一些实施例中，电子系统400的存储器420还可以存储虚拟现实引擎426。虚拟现实引擎426可以执行电子系统400内的应用，并从各种传感器接收HMD设备的位置信息、加速度信息、速度信息、预测的未来位置或其某种组合。在一些实施例中，由虚拟现实引擎426接收的信息可以用于为显示模块460产生信号(例如，显示指令)。例如，如果接收到的信息指示用户已经向左看，则虚拟现实引擎426可以为HMD设备生成反映用户在虚拟环境中的移动的内容。另外，虚拟现实引擎426可以响应于从用户输入/输出模块470接收的动作请求执行应用内的动作，并且向用户提供反馈。所提供的反馈可以是视觉、听觉或触觉反馈。在一些实现中，处理器410可以包括可以执行虚拟现实引擎426的一个或更多个GPU。

[0079] 在各种实现中，上述硬件和模块可以在单个设备上被实现，或者在能够使用有线或无线连接彼此通信的多个设备上被实现。例如，在一些实现中，一些部件或模块(例如GPU、虚拟现实引擎426和应用(例如，跟踪应用))，可以在与头戴式显示器设备分离的控制台上被实现。在一些实现中，一个控制台可以连接到或支持一个以上HMD。

[0080] 在替代配置中，不同的和/或附加的部件可以被包括在电子系统400中。类似地，一个或更多个部件的功能可以以不同于上述方式的方式分布在部件当中。例如在一些实施例中，电子系统400可以被修改为包括其他系统环境，例如AR系统环境和/或MR环境。

[0081] 如上所述，LED可以在人工现实系统的诸如显示电子器件122、定位器126和眼睛跟踪单元130的各个部分中用作光源。此外，LED可以用于各种显示技术，例如平视显示器、电视显示器、智能手机显示器、手表显示器、可佩戴显示器和柔性显示器。LED可以在诸如物联网(IOT)的许多应用中与多个传感器结合使用。本文描述的LED可以被配置成发射具有任何期望波长的光，例如紫外光、可见光或红外光。此外，本文所述的LED可以被配置成具有任何合适的台面形状，例如平面的、垂直的、圆锥形的、半抛物线形的、抛物线形的或其组合形式。本文描述的LED可以是具有线性尺寸小于50μm、小于20μm或小于10μm的有源发光区域的微型LED。例如，线性尺寸可以小到2μm或4μm。

[0082] 图5A-图5F示出了用于制造LED的晶圆到晶圆键合的方法。如图5A所示，该方法从具有衬底515和半导体材料501的结构开始。半导体材料501可以包括通过任何合适的外延方法在衬底515上生长的多个外延层。例如，半导体材料501可以包括n型层525、量子阱层530和p型层535。衬底515可以由适合生长半导体材料501的任何材料制成。例如，衬底515可以由蓝宝石制成，并且半导体材料501可以由GaN制成。也可以包括其他层，例如衬底515和n型层525之间的缓冲层。缓冲层可以由任何合适的材料(例如多晶GaN或AlN)制成，并且可以具有小于50nm的厚度。

[0083] 如图5B所示，接触层540可以沉积在半导体材料501的p型层535上。接触层540可以由用于提供与半导体材料501的电接触的任何合适的材料(例如金属)制成。此外，接触层540可以被优化以具有高反射率。键合层545可以沉积在接触层540上。键合层545可以由用于提供与半导体材料501的键合的任何合适的材料(例如金属)制成。接触层540和键合层545可以由不同的材料或相同的材料制成。接触层540和键合层545可以被包括在沉积在p型层535上的单层中，或者它们可以是如图5B所示的分离层。

[0084] 如图5C所示，可以提供包括基底晶圆505和键合层510的另一结构。基底晶圆505可以是专用集成电路(ASIC)晶圆，并且可以包括多个驱动电路580。键合层510可以由用于提供与基底晶圆505的键合的任何合适的材料(例如金属)制成。

[0085] 如图5D所示，基底晶圆505可以经由键合层510和/或键合层545键合到半导体材料501。键合层510和键合层545可以由相同的材料制成。这个示例在图5D中示出，其中键合层510和键合层545的组合被示为键合层550。或者，键合层510和键合层545可以由不同的材料制成。如下面进一步详细讨论的，基底晶圆505可以通过各种方法键合到半导体材料501。

[0086] 如图5E所示，可以从半导体材料501移除衬底515。可以通过任何合适的方法(例如激光剥离(LLO))来移除衬底515。例如，可以通过将激光束聚焦在衬底515和半导体材料501之间的交界面处来移除衬底515。替代地或附加地，可以通过加热衬底515和/或向衬底515施加水平力来移除衬底515。

[0087] 如图5F所示，可以穿过半导体材料501、接触层540、键合层550和部分基底晶圆505形成沟槽570。可以通过任何合适的方法(例如光刻)形成沟槽570。沟槽570的图案可以基于驱动电路580的位置，使得沟槽570不干扰驱动电路580并且不与驱动电路580竖直对准。所得结构包括由沟槽570分隔的多个LED。如图5F所示，LED可以具有竖直侧壁。例如，LED可以具有圆柱形台面。

[0088] 图6A-图6I示出了用于制造LED的另一种晶圆到晶圆键合的方法。如图6A所示，该方法从具有衬底615和半导体材料601的结构开始。半导体材料601可以包括通过任何合适的外延方法在衬底615上生长的多个外延层。例如，半导体材料601可以包括n型层625、量子阱层630和p型层635。衬底615可以由适合生长半导体材料601的任何材料制成。例如，衬底615可以由蓝宝石制成，并且半导体材料601可以由GaN制成。也可以包括其他层，例如衬底615和n型层625之间的缓冲层。缓冲层可以由任何合适的材料(例如多晶GaN或AlN)制成，并且可以具有小于50nm的厚度。

[0089] 如图6B所示，可以通过图案化半导体材料601中的多个间隙650来形成多个相邻的台面形690。可以通过任何合适的方法(例如各向异性蚀刻)进行图案化。一旦LED的制造完成，可以选择台面形690的形状来增加或优化从相应的LED提取的光量。例如，台面形690可

以形成为具有抛物线形状或另一种非竖直形状。反射层655可以形成在每个台面形690的至少一个侧壁上。反射层655可以由任何合适的材料(例如银或金)制成。可以通过任何合适的方法(例如蒸发或溅射)形成反射层655。

[0090] 如图6C所示,钝化层660可以形成在相邻的台面形690之间的间隙650内。钝化层660可以由任何合适的材料(例如氧化物)制成。钝化层660可用于提供平坦的键合表面。例如,在钝化层660已经沉积在间隙650内之后,钝化层660可以被抛光回平坦并暴露p型层635。可选地,可以移除钝化层660和p型层635的薄层以形成平坦的键合表面。在其他实施例中,可以使用研磨和/或化学蚀刻来形成平坦的键合表面。替代地或附加地,可以使用任何其他合适的方法来平坦化钝化层660和p型层635。

[0091] 如图6D所示,接触层640可以沉积在半导体材料601的p型层635和钝化层660上。接触层640可以由用于提供与半导体材料601的电接触的任何合适的材料(例如金属)制成。此外,接触层640可以被优化以具有高反射率。作为替代,可以在形成台面形690之前沉积接触层640。在该示例中,钝化层660可以被抛光回平坦并暴露接触层640。键合层645可以沉积在接触层640上。键合层645可以由用于提供与半导体材料601的键合的任何合适的材料(例如金属)制成。接触层640和键合层645可以由不同的材料或相同的材料制成。接触层640和键合层645可以被包括在沉积在p型层635和钝化层660上的单层中,或者它们可以是如图6D所示的分离层。

[0092] 如图6E所示,可以提供包括基底晶圆605和键合层610的另一种结构。基底晶圆605可以是ASIC晶圆,并且可以包括多个驱动电路680。键合层610可以由用于提供与基底晶圆605的键合的任何合适的材料(例如金属)制成。

[0093] 如图6F所示,基底晶圆605可以经由键合层610和/或键合层645键合到半导体材料601。键合层610和键合层645可以由相同的材料制成。该示例在图6F中示出,其中键合层610和键合层645的组合被示为键合层695。或者,键合层610和键合层645可以由不同的材料制成。如下面进一步详细讨论的,可以通过各种方法将基底晶圆605键合到半导体材料601。在键合期间,基底晶圆605可以与半导体材料601对准,使得驱动电路680与相邻的台面形690对准。

[0094] 如图6G所示,可以从半导体材料601移除衬底615。可以通过任何合适的方法(例如激光剥离(LLO))移除衬底615。例如,可以通过将激光束聚焦在衬底615和半导体材料601之间的交界面处来移除衬底615。替代地或附加地,可以通过加热衬底615和/或向衬底615施加水平力来移除衬底615。

[0095] 如图6H所示,可以穿过半导体材料601、接触层640和键合层695形成沟槽670。可以通过任何合适的方法(例如光刻)形成沟槽670。沟槽670可以用于切单LED,并且可以形成为使得沟槽670不干扰驱动电路680并且不与驱动电路680竖直对准。所得结构包括由沟槽670分隔的多个LED。如图6H所示,LED可以具有非竖直侧壁。

[0096] 如图6I所示,透镜675可以形成在每个LED的光出射表面处。透镜675可以增加光提取效率并减小LED的发射锥(emission cone)。例如,图6I所示的每个LED的光提取效率可以是至少85%,并且光束角可以小于40°。或者,可以在每个LED的光出射表面处形成其他光提取特征,例如光出射表面的粗糙化。其他光提取特征的一些示例包括渐变折射率光学器件、菲涅尔透镜、衍射光栅、光子晶体和抗反射(AR)涂层。可选地,可以形成其他特征来增加自

发辐射率。

[0097] 图6J示出了可以在基底晶圆605中使用的2T1C像素结构的示例。2T1C像素结构可以包括两个晶体管M1和M2，以及电容器C1。2T1C像素结构是驱动电路680的示例。

[0098] 图7A-图7F示出了用于制造LED的又一种晶圆到晶圆键合的方法。如图7A所示，该方法从具有衬底715和半导体材料701的结构开始。半导体材料701可以包括通过任何合适的外延方法在衬底715上生长的多个外延层。例如，半导体材料701可以包括n型层725、量子阱层730和p型层735。衬底715可以由适合生长半导体材料701的任何材料制成。例如，衬底715可以由蓝宝石制成，并且半导体材料701可以由GaN制成。也可以包括其他层，例如衬底715和n型层725之间的缓冲层720。缓冲层720可以由任何合适的材料(例如多晶GaN或AlN)制成，并且可以具有小于50nm的厚度。

[0099] 如图7B所示，可以通过图案化半导体材料701的p型层735来形成与多个低电阻率区域交替的多个高电阻率区域。高电阻率区域具有比低电阻率区域更高的电阻率。一旦p型层735被图案化，p型层735包括与多个高电阻率区域780交替的多个光发射器790(对应于低电阻率区域)。可以通过任何合适的方法(例如等离子体处理或离子注入)进行图案化。例如，光刻可用于用等离子体处理p型层735的选定区域，以增加这些区域的电阻率。处理的深度可以延伸穿过整个p型层735，并且可以不延伸到量子阱层730中。光发射器790可以被设计成通过将光发射器790与上述光提取特征对准来增加结构的光提取。p型层735可以被抛光回平坦，以便提供平坦的键合表面。或者，可以移除p型层735的薄片以形成平坦的键合表面。在其他实施例中，可以使用研磨和/或化学蚀刻来形成平坦的键合表面。替代地或附加地，可以使用任何其他合适的方法来平坦化p型层735。箭头795表示电流，并且示出电流不在相邻的光发射器790之间流动。

[0100] 如图7C所示，接触层740可以沉积在半导体材料701的p型层735上。接触层740可以由用于提供与半导体材料701的电接触的任何合适的材料(例如金属)制成。作为替代，可以在形成光发射器790之前沉积接触层740。此外，接触层740可以被优化以具有高反射率。键合层745可以沉积在接触层740上。键合层745可以由用于提供与半导体材料701的键合的任何合适的材料(例如金属)制成。接触层740和键合层745可以由不同的材料或相同的材料制成。接触层740和键合层745可以被包括在沉积在p型层735上的单层中，或者它们可以是如图7C所示的分离层。

[0101] 如图7D所示，基底晶圆705可以经由键合层750键合到半导体材料701。基底晶圆705可以是ASIC晶圆，并且可以包括多个驱动电路785。键合层745和键合层750可以由相同的材料制成。键合层750可以包括键合层745。如下面进一步详细讨论的，可以通过各种方法将基底晶圆705键合到半导体材料701。在键合期间，基底晶圆705可以与半导体材料701对准，使得驱动电路785与相邻的光发射器790对准。

[0102] 如图7E所示，可以从半导体材料701移除衬底715。可以通过任何合适的方法(例如激光剥离(LLO))移除衬底715。例如，可以通过将激光束聚焦在衬底715和半导体材料701之间的交界面处来移除衬底715。替代地或附加地，可以通过加热衬底715和/或向衬底715施加水平力来移除衬底715。

[0103] 如图7F所示，可以穿过半导体材料701、接触层740、键合层750和基底晶圆705形成沟槽770，以便切单LED。可选地，可以部分地穿过基底晶圆705形成沟槽770，以便切单LED。

作为另一种替代，基底晶圆705可以被部分地蚀刻以确定LED阵列尺寸，以及被完全蚀刻以隔离每个LED阵列。沟槽770可以形成在相邻的光发射器790之间，从而形成单独的LED。可以通过任何合适的方法(例如光刻)形成沟槽770。所得结构包括由沟槽770分隔的多个LED。如图7F所示，LED可以具有竖直侧壁。

[0104] 如图7G所示，透镜775可以形成在每个LED的光出射表面处。透镜775可以增加光提取效率并减小LED的发射锥。或者，可以在每个LED的光出射表面形成其他光提取特征，例如光出射表面的粗糙化。其他光提取特征的一些示例包括渐变折射率光学器件、菲涅尔透镜、衍射光栅和抗反射(AR)涂层。可选地，可以形成诸如光子晶体或光学天线的其他特征来增加自发辐射率。

[0105] 图8A-图8C示出了将基底晶圆键合到半导体晶圆的各种方法。如图8A所示，用于金属到金属键合的结构可以包括衬底815和半导体材料801。半导体材料801可以包括通过任何合适的外延方法在衬底815上生长的多个外延层。例如，半导体材料801可以包括n型层825、量子阱层830和p型层835。衬底815可以由适合生长半导体材料801的任何材料制成。例如，衬底815可以由蓝宝石制成，并且半导体材料801可以由GaN制成。也可以包括其他层，例如衬底815和n型层825之间的缓冲层820。缓冲层820可以由任何合适的材料(例如多晶GaN或AlN)制成，并且可以具有小于50nm的厚度。

[0106] 通过图案化半导体材料801的p型层835，可以形成与多个低电阻率区域交替的多个高电阻率区域。高电阻率区域可以具有比低电阻率区域更高的电阻率。一旦p型层835被图案化，p型层835包括与多个高电阻率区域880交替的多个光发射器890(对应于低电阻率区域)。可以通过任何合适的方法(例如等离子体处理或离子注入)进行图案化。例如，光刻可用于用等离子体处理p型层835的选定区域，以增加这些区域的电阻率。处理的深度可以延伸穿过整个p型层835，并且可以不延伸到量子阱层830中。p型层835可以被抛光回平坦，以便提供平坦的键合表面。或者，可以移除p型层835的薄片以形成平坦的键合表面。在其他实施例中，可以使用研磨和/或化学蚀刻来形成平坦的键合表面。替代地或附加地，可以使用任何其他合适的方法来平坦化p型层835。

[0107] 接触层840可以沉积在半导体材料801的p型层835上。接触层840可以由用于提供与半导体材料801的电接触的任何合适的材料(例如金属)制成。此外，接触层840可以被优化以具有高反射率。键合层845可以沉积在接触层840上。键合层845可以由用于提供与半导体材料801的键合的任何合适的材料(例如金属)制成。接触层840和键合层845可以由不同的材料或相同的材料制成。接触层840和键合层845可以被包括在沉积在p型层835上的单层中，或者它们可以是如图8A所示的分离层。键合层845可以用于金属到金属键合，并且键合层845可以由Ti或任何其他合适的金属制成。键合层845可以是基本平坦的，使得当它和另一金属键合层被推到一起时，它与该另一金属键合层粘附在一起。

[0108] 如图8B所示，用于共晶键合的结构可以包括衬底815和半导体材料801，半导体材料801包括n型层825、量子阱层830和p型层835。衬底815可以由适合生长半导体材料801的任何材料制成。例如，衬底815可以由蓝宝石制成，并且半导体材料801可以由GaN制成。也可以包括其他层，例如衬底815和n型层825之间的缓冲层820。缓冲层820可以由任何合适的材料(例如多晶GaN或AlN)制成，并且可以具有小于50nm的厚度。通过图案化半导体材料801的p型层835，可以形成与多个低电阻率区域交替的多个高电阻率区域。高电阻率区域可以具

有比低电阻率区域更高的电阻率。一旦p型层835被图案化，p型层835包括与多个高电阻率区域880交替的多个光发射器890(对应于低电阻率区域)。可以通过任何合适的方法(例如等离子体处理或离子注入)进行图案化。例如，光刻可用于用等离子体处理p型层835的选定区域，以增加这些区域的电阻率。处理的深度可以延伸穿过整个p型层835，并且可以不延伸到量子阱层830中。p型层835可以被抛光回平坦，以便提供平坦的键合表面。或者，可以移除p型层835的薄片以形成平坦的键合表面。在其他实施例中，可以使用研磨和/或化学蚀刻来形成平坦的键合表面。替代地或附加地，可以使用任何其他合适的方法来平坦化p型层835。共晶键合层885可以沉积在半导体材料801的p型层835上。共晶键合层885可以由用于提供到半导体材料801的共晶键合的任何合适的材料(例如CuSn或AuTi)制成。共晶键合层885不需要是基本平坦的，因为当它和另一金属键合层被加热并推到一起时，它将与该另一金属键合层粘附在一起。

[0109] 如图8C所示，用于金属氧化物键合的结构可以包括衬底815和半导体材料801，半导体材料801包括n型层825、量子阱层830和p型层835。衬底815可以由适合生长半导体材料801的任何材料制成。例如，衬底815可以由蓝宝石制成，并且半导体材料801可以由GaN制成。也可以包括其他层，例如衬底815和n型层825之间的缓冲层820。缓冲层820可以由任何合适的材料(例如多晶GaN或AlN)制成，并且可以具有小于50nm的厚度。通过图案化半导体材料801的p型层835，可以形成与多个低电阻率区域交替的多个高电阻率区域。高电阻率区域可以具有比低电阻率区域更高的电阻率。一旦p型层835被图案化，p型层835包括与多个高电阻率区域880交替的多个光发射器890(对应于低电阻率区域)。可以通过任何合适的方法(例如等离子体处理或离子注入)进行图案化。例如，光刻可用于用等离子体处理p型层835的选定区域，以增加这些区域的电阻率。处理的深度可以延伸穿过整个p型层835，并且可以不延伸到量子阱层830中。p型层835可以被向回抛光，以便提供平坦的键合表面。或者，可以移除p型层835的薄片以形成平坦的键合表面。在其他实施例中，可以使用研磨和/或化学蚀刻来形成平坦的键合表面。替代地或附加地，可以使用任何其他合适的方法来平坦化p型层835。

[0110] 金属层895可以形成在每个光发射器890上。金属层895可以是LED器件的触点。高电阻率区域880可以充当用于键合到另一衬底的氧化物层。可选地，氧化物层899可以形成在每个高电阻率区域880上。金属层895也可用于与另一键合层键合。高电阻率区域880或氧化物层899可用于产生与也具有氧化物和金属区域交替图案的另一衬底的初始键合。衬底被对准并且形成氧化物-氧化物键合。氧化物-氧化物键合可以在室温下形成。金属层895然后可用于产生第二键合，以提供电连接并增强第一键合的强度。可以通过加热衬底以封闭两个衬底的金属区域之间的间隙来形成金属-金属键合，从而产生导电路径。然后，可以进一步加热键合的衬底，以在不施加外部压力的情况下压缩金属区域。

[0111] 替代地或附加地，可以使用各种其他键合方法。例如，可以使用阳极键合、热压键合、紫外线(UV)键合和/或熔融键合。此外，可以使用两步键合工艺，其中产生具有中等强度的初始键合，然后在移除衬底之后并且在切单LED之前增强初始键合。

[0112] 图9A-图9D示出了形成用于晶圆到晶圆键合的表面的方法。如图9A所示，用于晶圆到晶圆键合的结构可以包括衬底915和半导体材料901。半导体材料901可以包括通过任何合适的外延方法在衬底915上生长的多个外延层。衬底915可以由适合生长半导体材料901

的任何材料制成。例如，衬底915可以由蓝宝石制成，并且半导体材料901可以由GaN制成。也可以包括其他层，例如上面描述的那些。

[0113] 如图9B所示，触点940可以沉积在半导体材料901上。触点940可以由用于向半导体材料901提供电接触的任何合适的材料(例如金属)制成。此外，触点940可以被优化以具有高反射率。

[0114] 如图9C所示，钝化层960可以沉积在半导体材料901和触点940上。钝化层960可以由任何合适的材料(例如氧化物)制成。

[0115] 如图9D所示，可以移除钝化层960的一部分，以便提供用于键合的具有触点940和钝化层960的表面。钝化层960可用于提供平坦的键合表面。例如，钝化层960可以被抛光回平坦并暴露触点940。可选地，可以移除钝化层960和触点940的薄层以形成平坦的键合表面。在其他实施例中，可以使用研磨和/或化学蚀刻来形成平坦的键合表面。替代地或附加地，可以使用任何其他合适的方法来平坦化钝化层960和触点940。平坦的键合表面可用于通过如上所述的金属氧化物键合将衬底915键合到另一个晶圆。

[0116] 上面讨论的方法、系统和器件是示例。各种实施例可以酌情省略、替换或添加各种过程或部件。例如，在替代配置中，所描述的方法可以以不同于所描述的顺序来被执行，和/或可以添加、省略和/或组合各个阶段。此外，关于某些实施例描述的特征可以在各种其他实施例中被组合。实施例的不同方面和元素可以以相似的方式被组合。此外，技术不断发展，且因此许多元素是示例，并不将本公开的范围限制于那些具体示例。

[0117] 在描述中给出了具体细节，以提供对实施例的透彻理解。然而，可以在没有这些具体细节的情况下实施实施例。例如，为了避免模糊实施例，众所周知的电路、过程、系统、结构和技术被示出而没有不必要的细节。此描述仅提供示例实施例，并不意图限制本发明的范围、适用性或配置。相反，实施例的前述描述将为本领域技术人员提供用于实现各种实施例的使能描述(enabling description)。在不脱离本公开的精神和范围的情况下，可以在元素的功能和布置方面进行各种改变。

[0118] 此外，一些实施例被描述为过程，过程被描绘为流程图或框图。尽管每一个都可以将操作描述为顺序过程，但是许多操作可以并行或并发地被执行。此外，操作的顺序可以被重新排列。过程可以具有图中未包括的附加步骤。此外，可以通过硬件、软件、固件、中间件、微代码、硬件描述语言或其任意组合来实现方法的实施例。当以软件、固件、中间件或微代码实现时，执行相关联的任务的程序代码或代码段可以存储在诸如存储介质的计算机可读介质中。处理器可以执行相关联的任务。

[0119] 对于本领域技术人员来说，将明显的是，可以根据特定的要求进行实质性的变化。例如，还可以使用定制的或专用的硬件，和/或可以以硬件、软件(包括便携式软件，例如小程序(applet)等)或者两者来实现特定的元素。此外，可以采用到诸如网络输入/输出设备的其他计算设备的连接。

[0120] 参考附图，可以包括存储器的部件可以包括非暂时性机器可读介质。如本文所使用的，术语“机器可读介质(machine-readable medium)”和“计算机可读介质(computer-readable medium)”是指参与提供使机器以特定方式操作的数据的任何存储介质。在上文提供的实施例中，各种机器可读介质可以涉及向处理单元和/或其他设备提供指令/代码以供执行。附加地或替代地，机器可读介质可以用于存储和/或携带这样的指令/代码。在许多

实现中，计算机可读介质是物理和/或有形存储介质。这样的介质可以采取多种形式，包括但不限于非易失性介质、易失性介质和传输介质。计算机可读介质的常见形式包括例如磁和/或光学介质(例如光盘(CD)或数字多功能盘(DVD))、穿孔卡、纸带、具有孔图案的任何其他物理介质、RAM、可编程只读存储器(PROM)、可擦除可编程只读存储器(EPROM)、闪存-EPROM、任何其他存储器芯片或盒、下文所述的载波、或计算机可以从中读取指令和/或代码的任何其他介质。计算机程序产品可以包括代码和/或机器可执行指令，其可以表示过程、函数、子程序、程序、例程、应用(App)、子例程、模块、软件包、类、或指令、数据结构或程序语句的任意组合。

[0121] 本领域的技术人员将理解，用于传送本文描述的消息的信息和信号可以使用各种不同的技术和技艺中的任何一种来表示。例如，在上面的描述中可以引用的数据、指令、命令、信息、信号、比特、符号和码片(chip)可以由电压、电流、电磁波、磁场或粒子、光场或粒子、或其任意组合来表示。

[0122] 本文使用的术语“和”以及“或”可以包括多种含义，这些含义还被预期至少部分地取决于使用这些术语的上下文。典型地，“或”如果用于关联列表，例如A、B或C，则意在表示A、B和C(此处以包含的意义使用)以及A、B或C(此处以排他的意义使用)。此外，本文使用的术语“一个或更多个”可以用来以单数形式描述任何特征、结构或特性，或者可以用来描述特征、结构或特性的某种组合。然而，应当注意，这仅仅是说明性的示例，并且要求保护的主题不限于该示例。此外，术语“...中的至少一个(at least one of)”如果用于关联列表，例如A、B或C，则可以被解释为表示A、B和/或C的任意组合，例如A、AB、AC、BC、AA、ABC、AAB、AABBCCC等。

[0123] 此外，虽然已经使用硬件和软件的特定组合描述了某些实施例，但是应当认识到，硬件和软件的其他组合也是可能的。某些实施例可以仅以硬件实现，或者仅以软件实现，或者使用它们的组合来实现。在一个示例中，可以用包含计算机程序代码或指令的计算机程序产品来实现软件，所述计算机程序代码或指令可由一个或更多个处理器执行，用于执行在本公开中描述的任何或所有步骤、操作或过程，其中计算机程序可以存储在非暂时性计算机可读介质上。本文描述的各种过程可以在相同的处理器上或者以任何组合在不同的处理器上被实现。

[0124] 在设备、系统、部件或模块被描述为被配置为执行某些操作或功能的情况下，可以例如通过设计执行操作的电子电路、通过对可编程电子电路(例如微处理器)进行编程以(例如通过执行计算机指令或代码)执行操作、或者被编程为执行存储在非暂时性存储器介质上的代码或指令的处理器或核、或者它们的任意组合来完成这种配置。过程可以使用各种技术(包括但不限于用于过程间通信的传统技术)进行通信，并且不同的过程对可以使用不同的技术，或者同一对过程可以在不同的时间使用不同的技术。

[0125] 因此，说明书和附图应被视为说明性的而不是限制性的。然而，将明显的是，在不脱离在权利要求中阐述的更广泛的精神和范围的情况下，可以对其进行添加、删减、删除以及其他修改和改变。因此，尽管已经描述了具体实施例，但是这些实施例并不意图进行限制。各种修改和等同物都在所附权利要求的范围内。

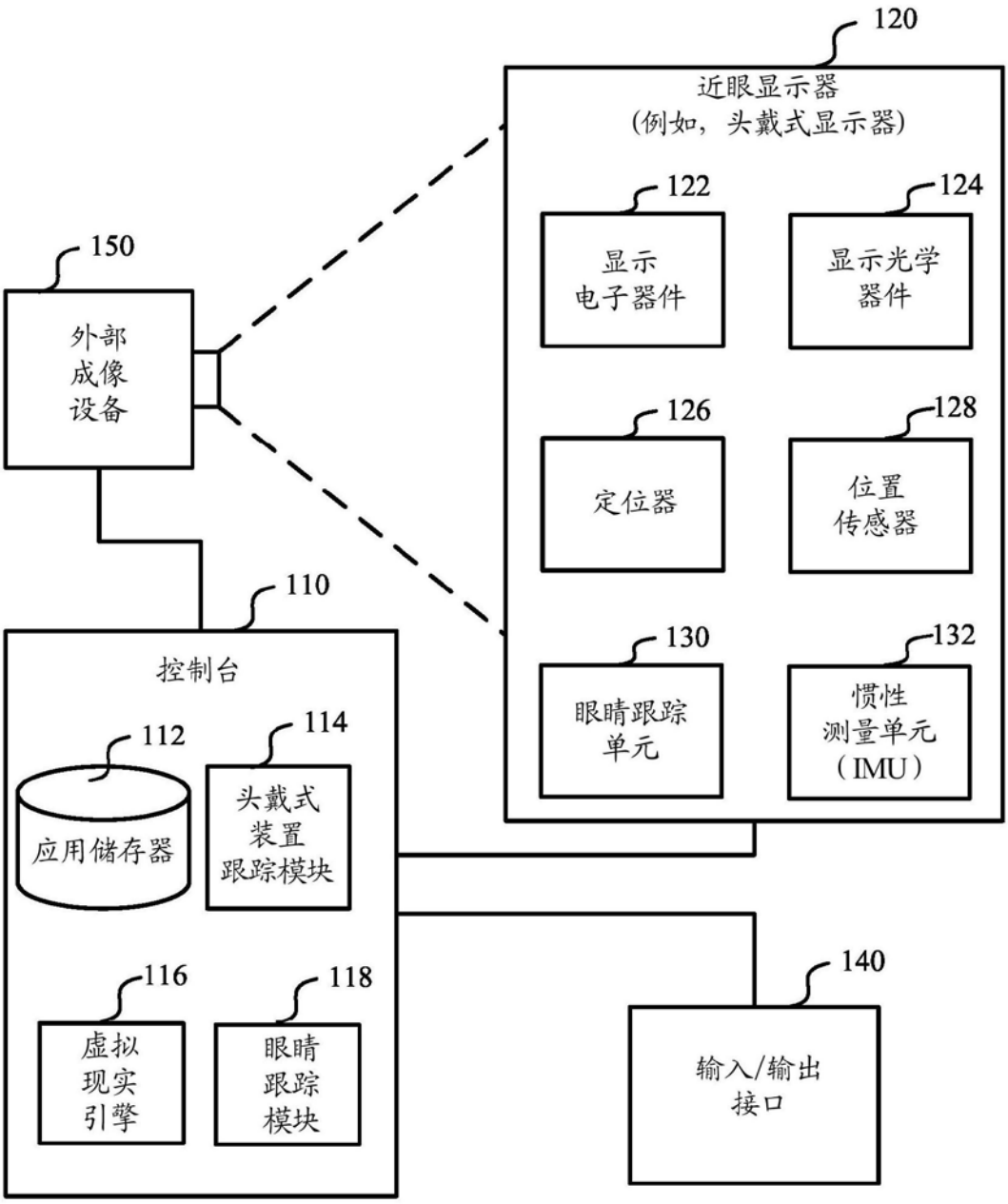

100
120
近眼显示器
(例如，头戴式显示器)
122
显示
电子器件
124
显示光学
器件
126
定位器
128
位置
传感器
130
眼睛跟踪
单元
132
惯性
测量单元
(IMU)
150
外部
成像
设备
110
控制台
112
应用储存器
114
头戴式
装置
跟踪模块
116
虚拟
现实
引擎
118
眼睛
跟踪
模块
140
输入/输出
接口

图1

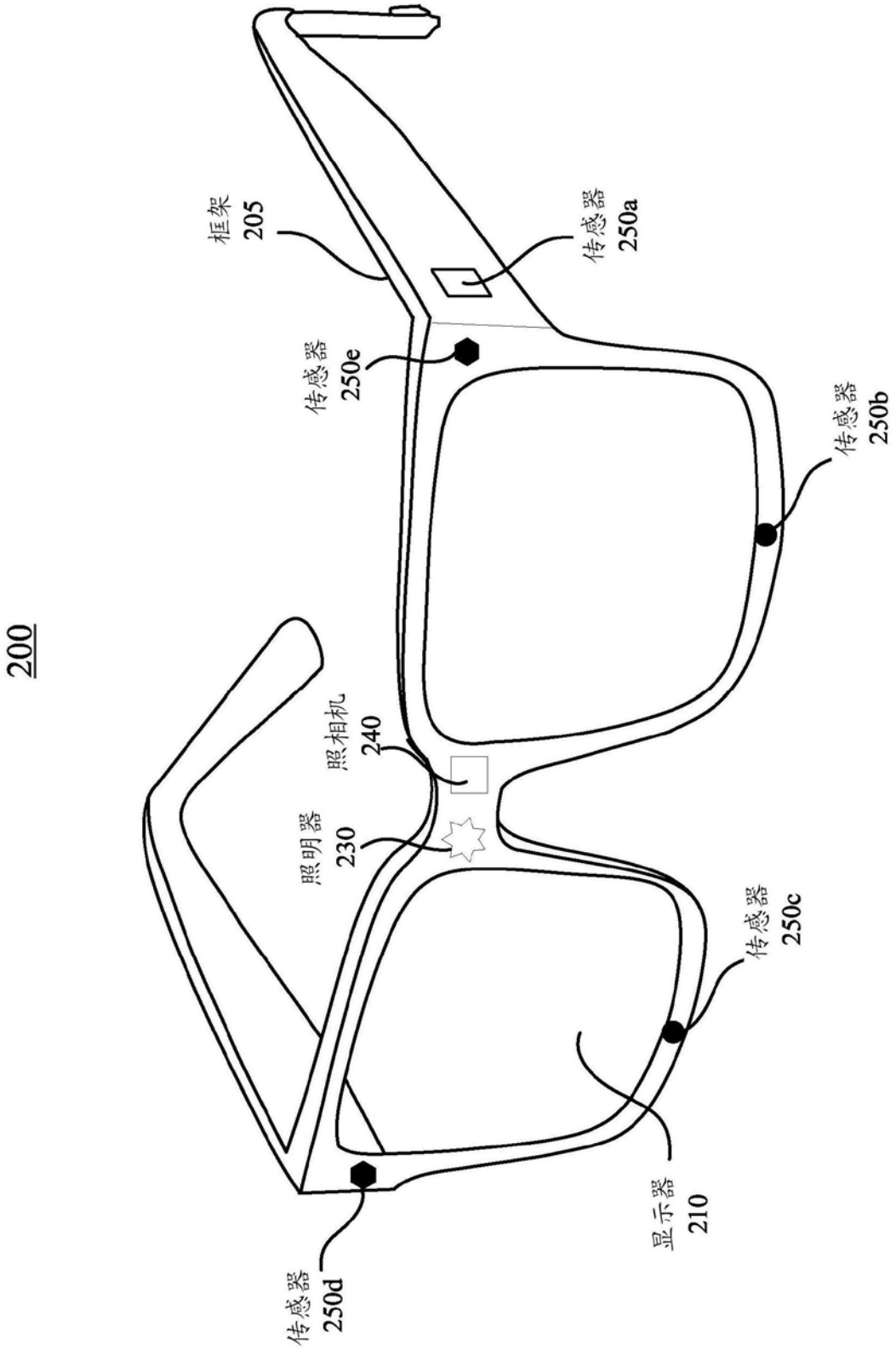

200
框架
205
传感器
250a
传感器
250e
传感器
250b
照相机
240
照明器
230
传感器
250c
显示器
210
传感器
250d

图2

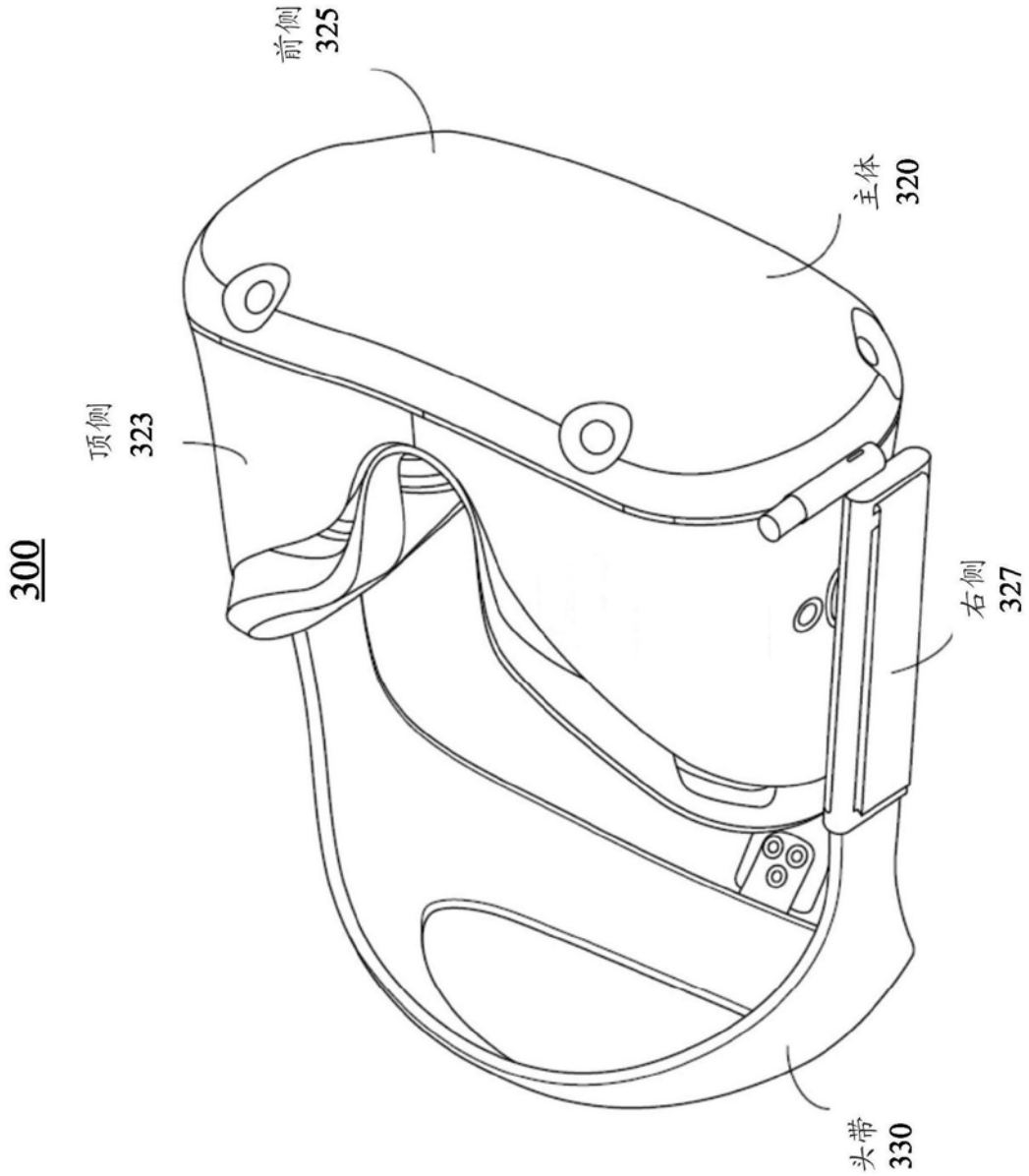


图3

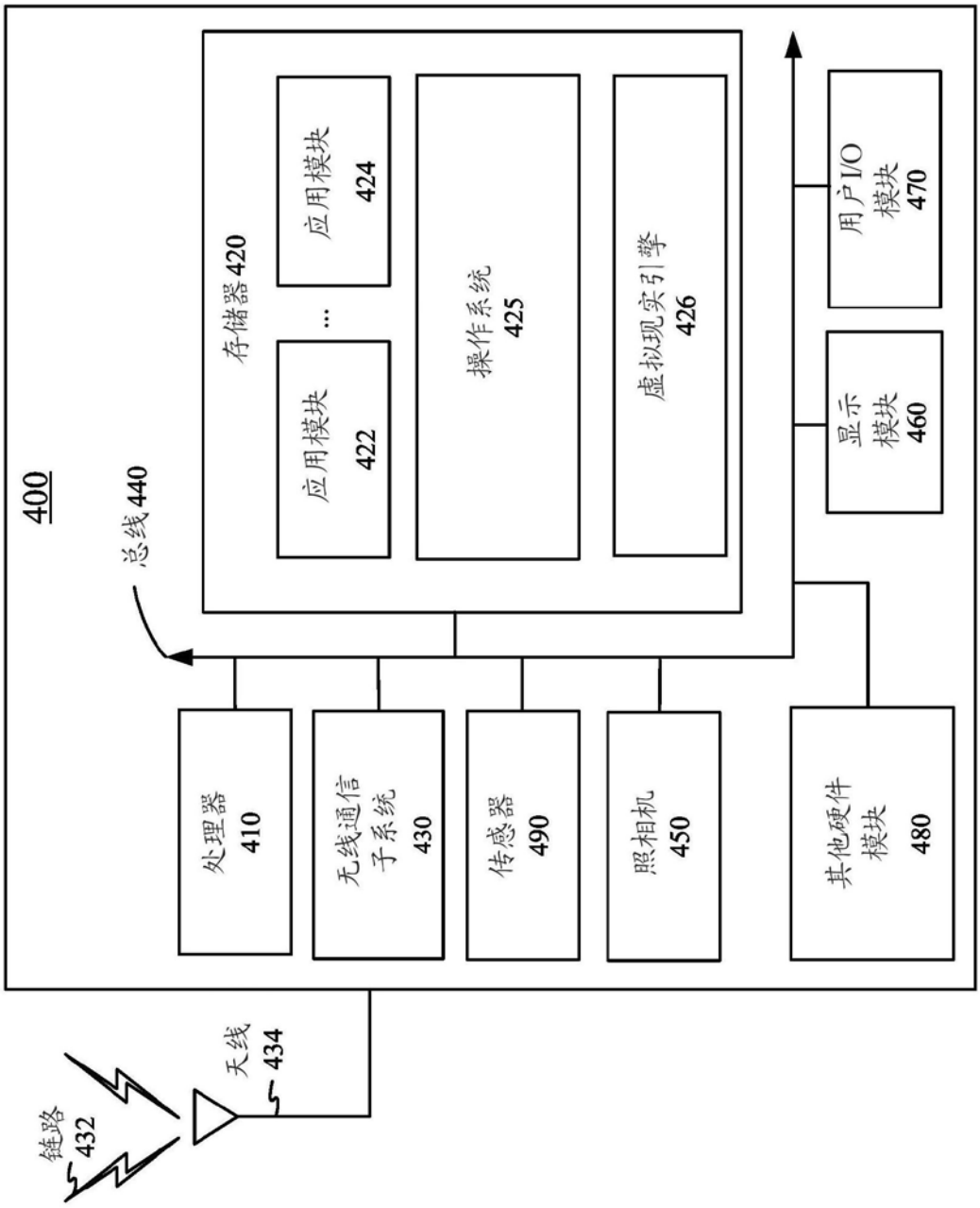

400
总线 440
存储器 420
应用模块 424
...
应用模块 422
操作系统 425
虚拟现实引擎 426
用户I/O 模块 470
显示 模块 460
处理器 410
无线通信 子系统 430
传感器 490
照相机 450
其他硬件 模块 480
天线 434
链路 432

图4

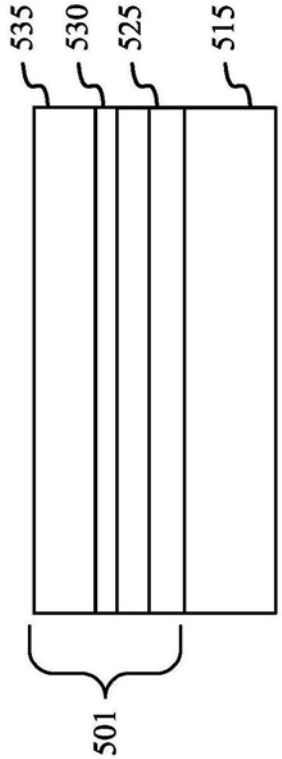


图5A

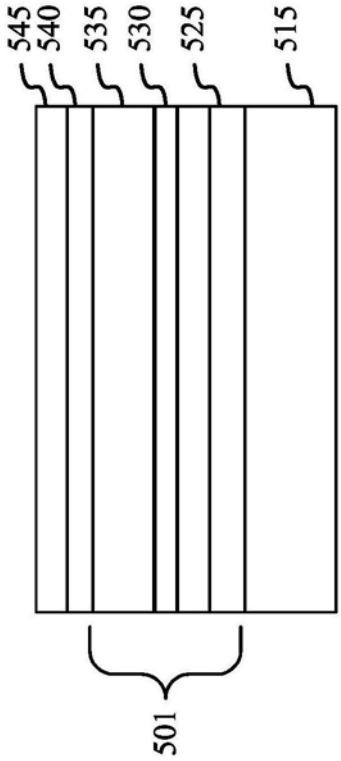


图5B

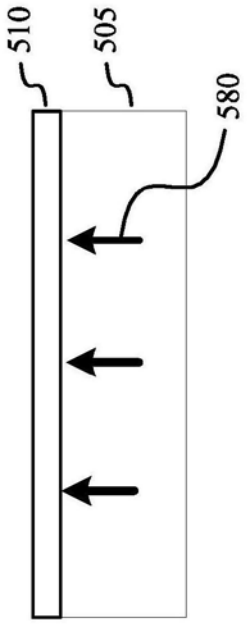


图5C

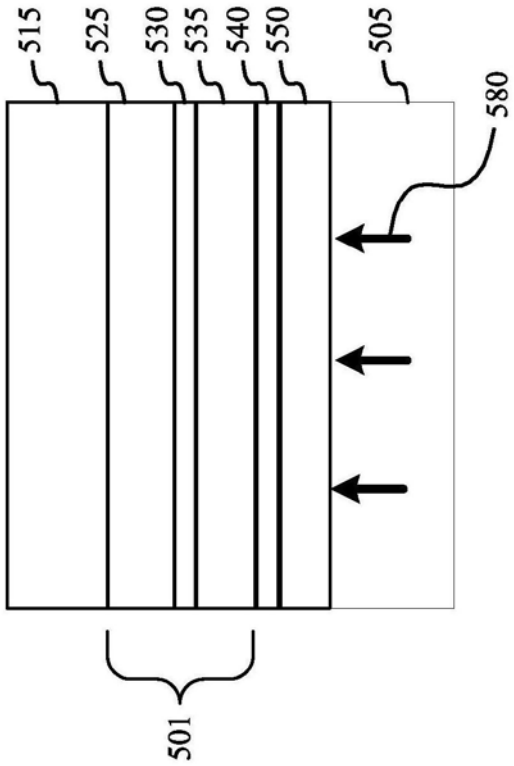


图5D

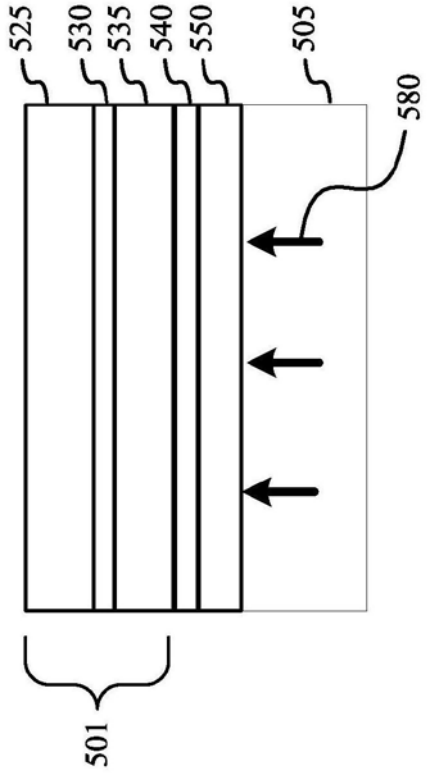

525
530
535
540
550
505
580
501

图5E

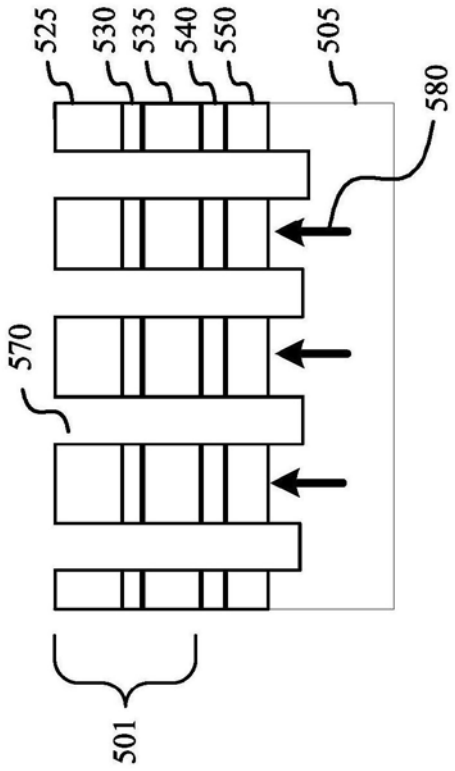

525
530
535
540
550
505
580
570
501

图5F

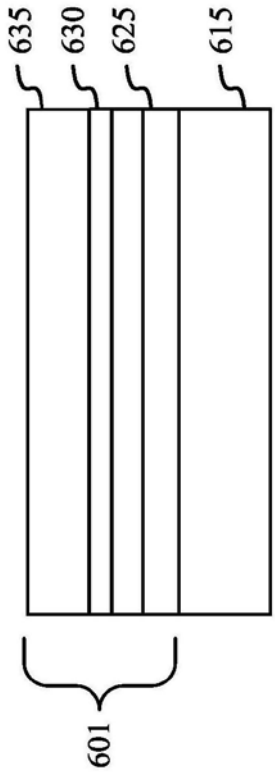


图6A

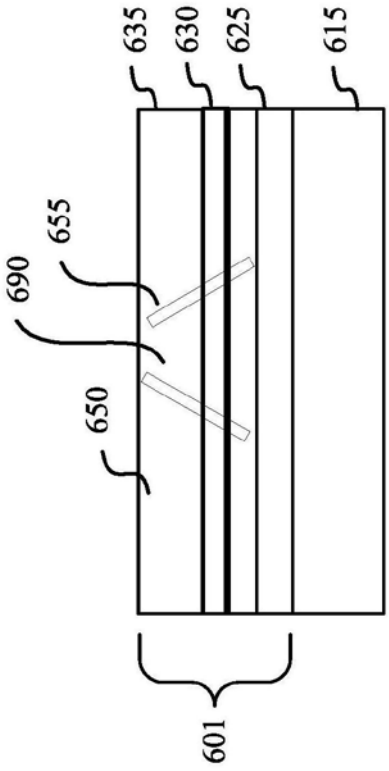


图6B

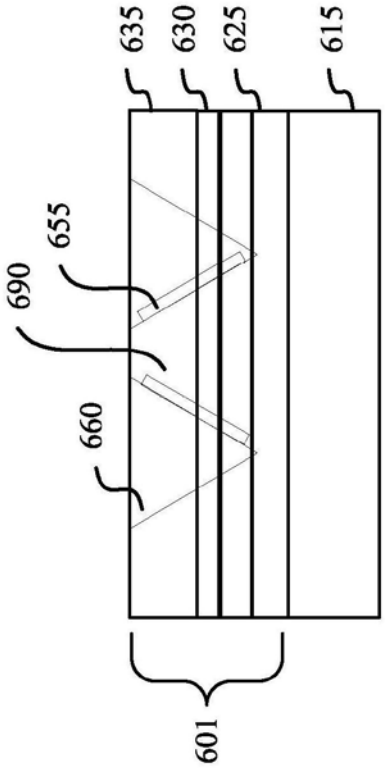

635
630
625
615
655
690
660
601

图6C

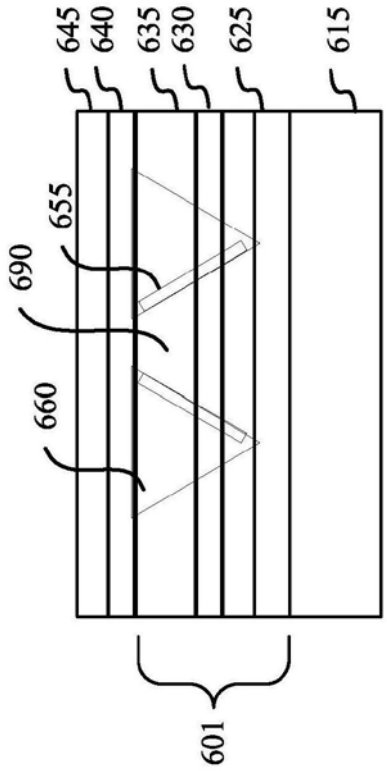

645
640
635
630
625
615
655
690
660
601

图6D

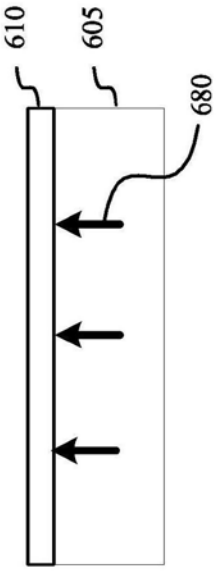


图6E

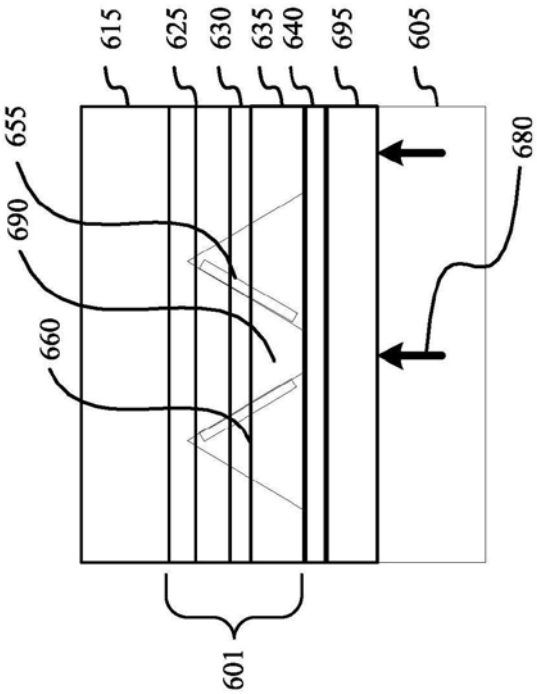


图6F

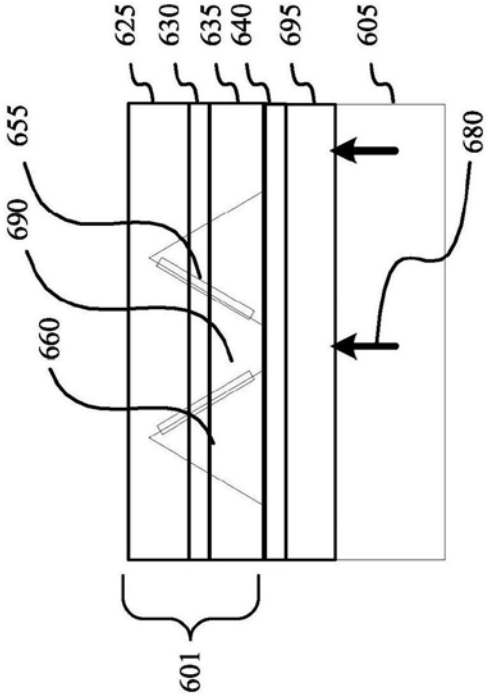

625
630
635
640
695
605
655
680
690
660
601

图6G

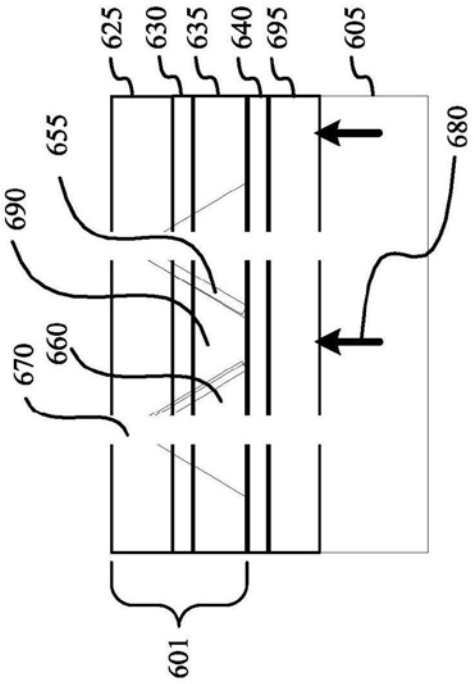

625
630
635
640
695
605
655
680
690
670
660
601

图6H

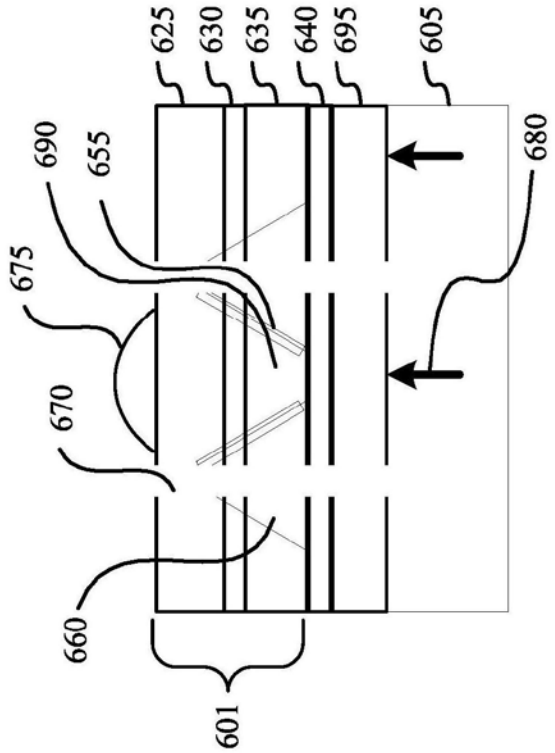


图6I

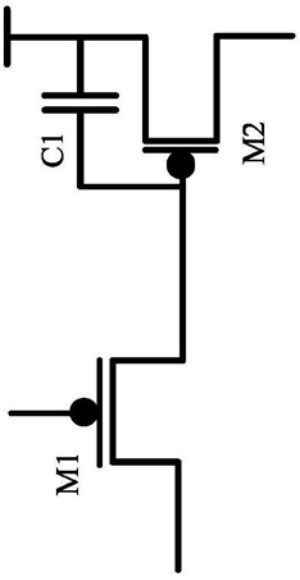


图6J

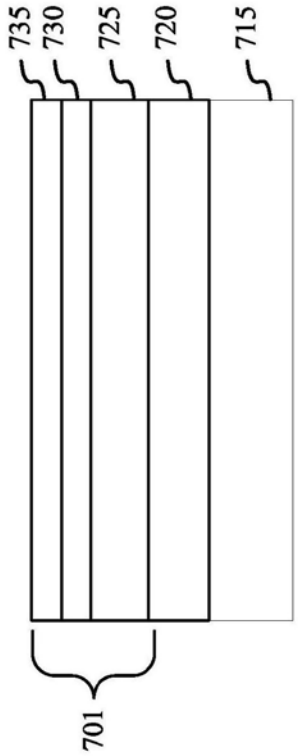


图7A

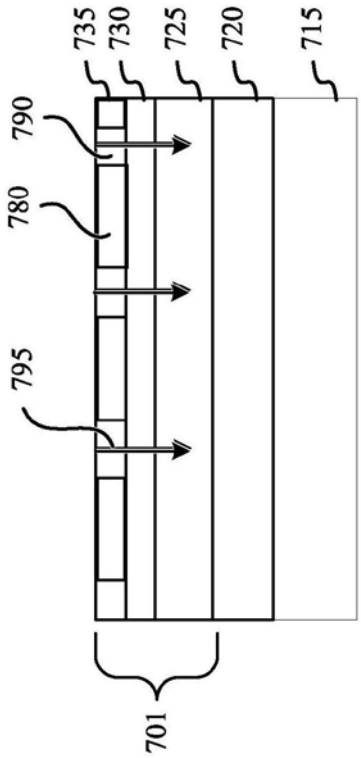


图7B

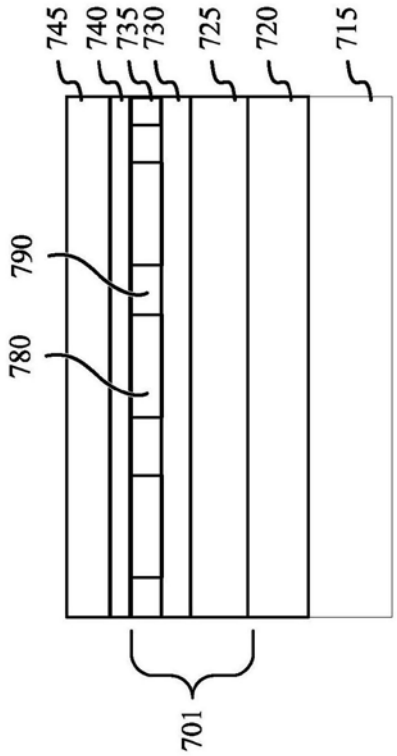

745
740
735
730
725
720
715
790
780
701

图7C

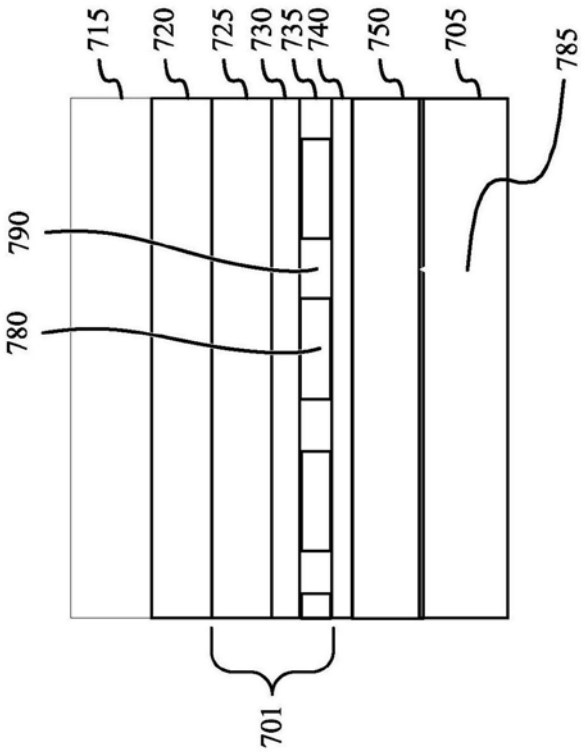

715
720
725
730
735
740
750
705
785
790
780
701

图7D

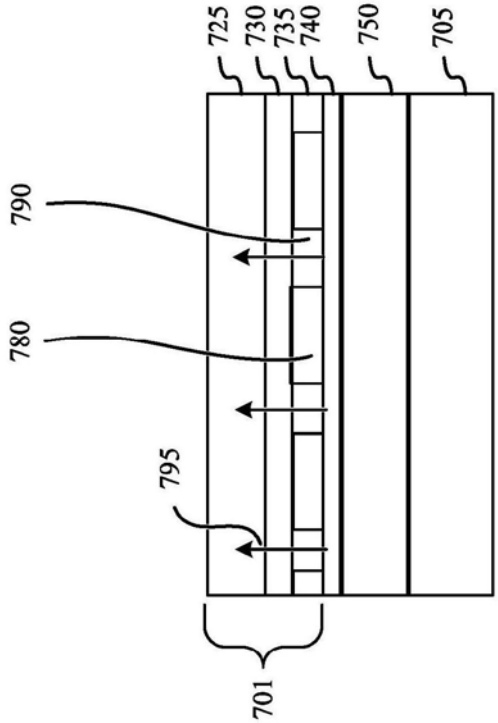

725
730
735
740
750
705
790
780
795
701

图7E

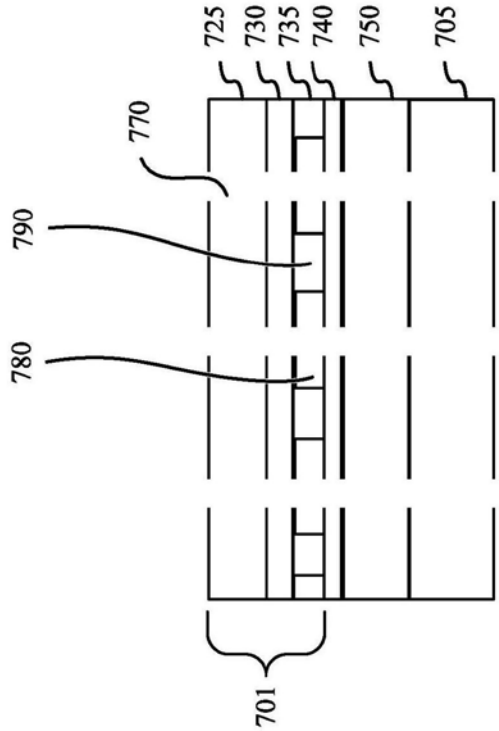

725
730
735
740
750
705
770
790
780
701

图7F

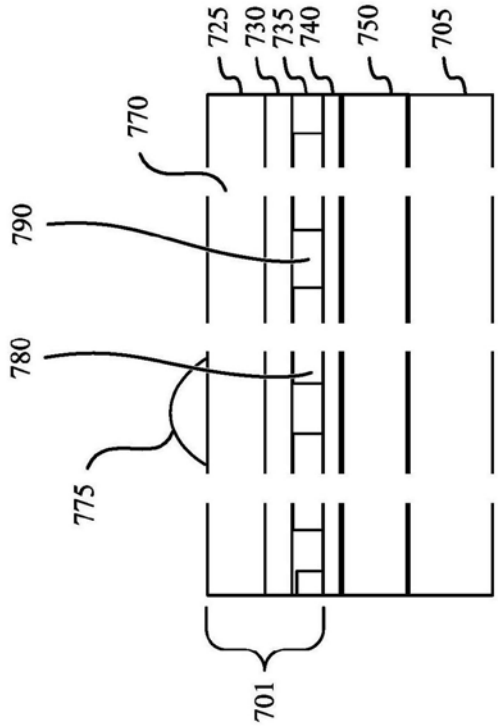

725
730
735
740
750
705
770
790
780
775
701

图7G

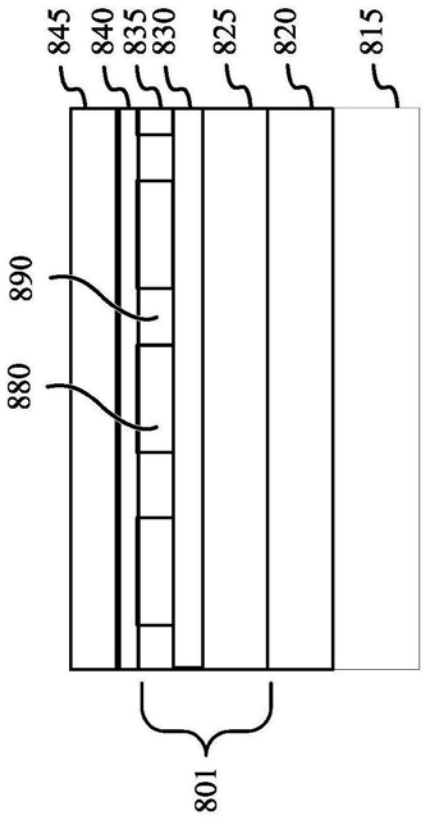

845
840
835
830
825
820
815
890
880
801

图8A

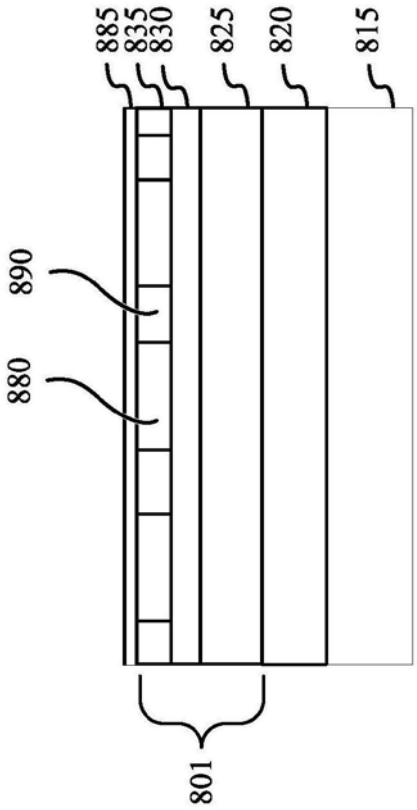


图8B

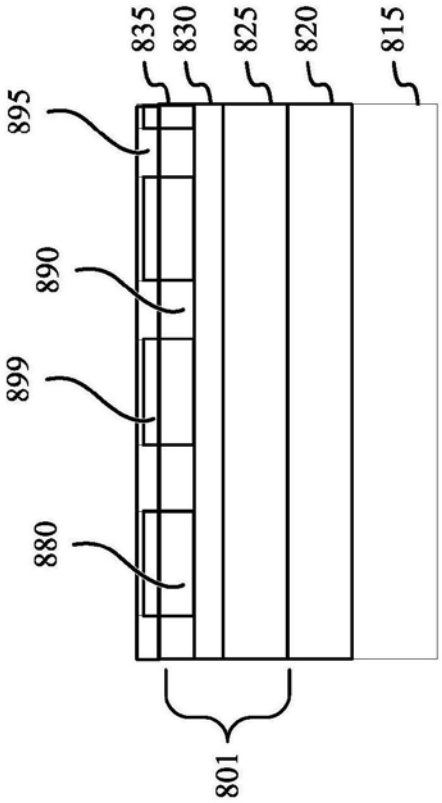


图8C

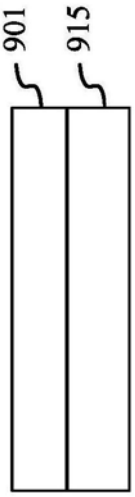


图9A

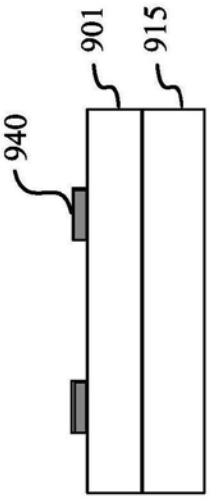


图9B

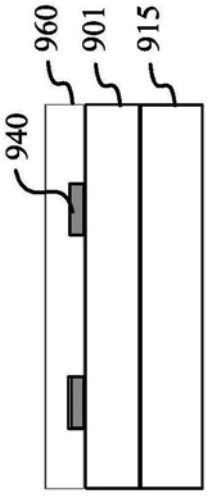


图9C

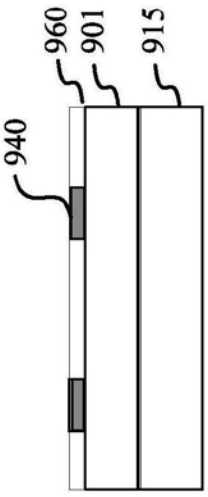


图9D