



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109073757 B

(45) 授权公告日 2023. 07. 04

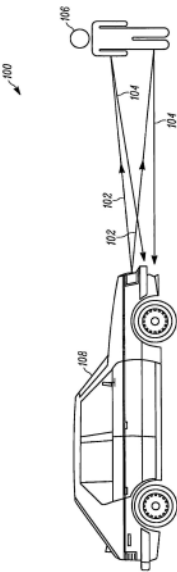
(21) 申请号 201780024892.0
(22) 申请日 2017.04.05
(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109073757 A
(43) 申请公布日 2018.12.21
(30) 优先权数据
62/326,576 2016.04.22 US
62/396,295 2016.09.19 US
15/456,789 2017.03.13 US
(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.10.22
(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2017/026109 2017.04.05
(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/184336 EN 2017.10.26
(73) 专利权人 欧普赛斯技术有限公司
地址 以色列霍隆

(72) 发明人 M·J·道诺万
(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
有限公司 11038
专利代理师 刘凤香
(51) Int.Cl.
G01S 17/931 (2020.01)
G05D 1/02 (2020.01)
H01S 3/23 (2006.01)
(56) 对比文件
US 2014043309 A1,2014.02.13
US 2014043309 A1,2014.02.13
US 2007181810 A1,2007.08.09
US 2007177841 A1,2007.08.02
US 2008074640 A1,2008.03.27
US 2010302528 A1,2010.12.02
US 2010271614 A1,2010.10.28
JP 2006162386 A,2006.06.22
审查员 崔瑞云

权利要求书2页 说明书21页 附图28页

(54) 发明名称
多波长LIDAR系统

(57) 摘要
多波长LIDAR系统包括生成具有第一波长的第一光束的第一激光源和生成具有第二波长的第二光束的第二激光源。光学元件投射第一光束以在目标平面处形成第一光束轮廓并投射第二光束以在目标平面处形成第二光束轮廓。光接收器生成与接收到的第一光束轮廓的反射部分对应的第一波长信号并生成与目标平面处的第二光束轮廓的反射部分对应的第二波长信号。控制器根据第一和第二波长信号生成测量点云,其中测量点云的角分辨率取决于第一光束轮廓和第二光束轮廓在目标平面处的相对位置。



1. 一种多波长LIDAR系统,包括:

a) 生成具有第一波长的第一多个光束的第一多个激光发射器,第一多个激光发射器位于第一行;

b) 生成具有第二波长的第二多个光束的第二多个激光发射器,第二多个激光发射器位于第二行;

c) 被定位成接收第一多个光束和第二多个光束的光学元件,所述光学元件在第一多条路径中投射第一多个光束以在目标平面处形成第一多个光束轮廓,并在第二多条路径中投射第二多个光束以在目标平面处形成第二多个光束轮廓,使得在目标平面处的维度中第一多个光束轮廓中的至少一个的位置与第二多个光束轮廓中的至少一个的位置相偏移;

d) 被定位成接收第一多个光束轮廓的在目标平面处反射的部分和第二多个光束轮廓的在目标平面处反射的部分的光接收器,所述光接收器在第一输出处生成与接收到的第一多个光束轮廓的反射部分对应的第一多个波长信号并且在第二输出处生成与第二多个光束轮廓的在目标平面处的反射部分对应的第二多个波长信号;以及

e) 具有电连接到光接收器的第一输出和第二输出的第一输入的控制器,所述控制器根据由光接收器生成的第一多个波长信号和第二多个波长信号生成测量点云,其中目标平面处的所述维度中的测量点云的角分辨率取决于第一多个光束轮廓中的至少一个的位置与第二多个光束轮廓中的至少一个的位置在目标平面处的所述维度中的偏移。

2. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器中的至少一个包括集成的小透镜。

3. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器中的至少一个包括二维阵列。

4. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器中的至少一些的阳极电连接到第一金属触点并且第一多个激光发射器中的至少一些的阴极电连接到第二金属触点,使得单个激光发射器可以被激励。

5. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器中的至少一个被定位在弯曲的基板上。

6. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器中的至少一个包括脉冲激光源。

7. 如权利要求6所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器被配置为分别生成具有第一脉冲宽度的第一多个脉冲光束和具有第二脉冲宽度的第二多个脉冲光束。

8. 如权利要求6所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器被配置为分别生成具有第一签名的第一多个高阶光束和具有第二签名的第二多个高阶光束。

9. 如权利要求6所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器被配置为生成具有第一重复率的第一多个脉冲光束和具有第二重复率的第二多个脉冲光束。

10. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器中的至少一个被配置为生成多个偏振光束。

11. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个光束轮廓中的至少一个在目标平面上与第二多个光束轮廓中的至少一个空间地重叠,从而增加测量点云的角分辨率。

12. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述光学元件投射第一多个光束和第二多个光束,使得第一多个光路中的至少一个与第二多个光路中的至少一个相同。

13. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述光学元件投射第一多个光束和第二多个光束,使得第一多个光路和第二多个光路是不同的光路。

14. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述测量点云的角分辨率包括第一角分辨率和第二角分辨率。

15. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述测量点云的视场包括第一视场和第二视场。

16. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器被配置为使得所述测量点云包括具有第一密度的第一测量点云和具有第二密度的第二测量点云。

17. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述光学元件包括自由空间光学元件。

18. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述光学元件包括波长多路复用器。

19. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述光学元件包括衍射光学元件。

20. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述光学元件包括透镜。

21. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述光学元件被配置为使得所述测量点云的角分辨率在从所述目标平面到所述光学元件的预定距离处为小于0.4度。

22. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述光学元件包括多个光学元件。

23. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述光接收器包括检测具有第一波长的光的第一接收器和检测具有第二波长的光的第二接收器。

24. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,还包括提供校准监视、性能监视和可靠性监视中的至少一者的性能监视器。

25. 如权利要求24所述的多波长LIDAR系统,其中所述性能监视器包括光功率监视器。

26. 如权利要求24所述的多波长LIDAR系统,其中所述性能监视器包括波长监视器。

27. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,还包括温度监视器。

28. 如权利要求27所述的多波长LIDAR系统,还包括热控制器件。

29. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述接收器的第一输出和第二输出是相同的输出。

30. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器中的至少一个形成在包括集成激光驱动器的基板上。

31. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中所述测量点云的角分辨率在至少一个维度上变化。

32. 如权利要求1所述的多波长LIDAR系统,其中第一多个激光发射器和第二多个激光发射器中的至少一个包括VCSEL阵列。

多波长LIDAR系统

[0001] 本文使用的章节标题仅用于组织目的, 不应当被解释为以任何方式限制本申请中描述的主题。

[0002] 相关申请的交叉参考

[0003] 本申请是于2016年4月22日提交的标题为“Multi-Wavelength Lidar System”的美国临时专利申请号62/326,576和于2016年9月19日提交的标题为“WDM Lidar System”的美国临时专利申请号62/396,295的非临时申请。美国临时专利申请号62/326,576和美国临时专利申请号62/396,295的全部内容通过引用并入本文。

背景技术

[0004] 自主(自动驾驶)和半自主汽车使用诸如雷达、图像识别相机和声纳之类的不同传感器和技术的组合来检测和定位周围物体。这些传感器使得能够在驾驶员安全方面进行大量改进, 包括碰撞警告、自动紧急制动、车道偏离警告、车道保持辅助、自适应巡航控制和自动驾驶。在这些传感器技术当中, 光检测和测距(LIDAR)系统是使得能够实时测量物体距离的最关键技术之一。

附图说明

[0005] 在以下详细描述中, 结合附图, 更具体地描述了根据优选的和示例性实施例的本教导及其进一步的优点。本领域技术人员将理解的是, 下面描述的附图仅用于说明目的。附图不一定按比例绘制, 而是通常将重点放在说明教导的原理上。附图不旨在以任何方式限制申请人的教导的范围。

[0006] 图1图示了在车辆中实现的本教导的LIDAR系统的操作。

[0007] 图2图示了表示用于汽车周围环境的典型LIDAR感测系统的二维视场和范围要求的示意图。

[0008] 图3图示了本教导的多模块LIDAR传感器系统的实施例。

[0009] 图4图示了本教导的LIDAR传感器系统的实施例的表示作为距离的函数的水平角分辨率的表。

[0010] 图5图示了表示Velodyne LiDAR™系统的通告性能的表。

[0011] 图6图示了表示本教导的LIDAR系统的实施例的性能规范的表。

[0012] 图7图示了使用本教导的两个激光器的多波长LIDAR系统的实施例。

[0013] 图8图示了使用本教导的两个激光器和波长组合器的多波长LIDAR系统的照明器(illuminator)的实施例。

[0014] 图9图示了本教导的使用多个接收器用于不同波长的接收器的实施例。

[0015] 图10图示了根据本教导的用于多波长LIDAR系统的简单编码方案的实施例。

[0016] 图11图示了包括由二十一个独立的孔径形成的簇的现有技术簇VCSEL器件的图。

[0017] 图12A图示了包括独立布置的多个簇VCSEL器件的芯片。

[0018] 图12B图示了包括以条形布置的多个簇VCSEL器件的芯片。

- [0019] 图12C图示了包括本教导的多个簇VCSEL器件的芯片的阳极金属接触垫的俯视图。
- [0020] 图12D图示了包括图12C中所示的多个簇VCSEL器件的芯片的阴极金属接触垫的仰视图。
- [0021] 图13图示了用于本教导的多波长LIDAR系统的多发射器激光源的实施例。
- [0022] 图14图示了用于本教导的多波长LIDAR系统的照明器的实施例的横截面图。
- [0023] 图15A图示了本教导的单波长2D多发射器激光源照明的实施例的测量点云。
- [0024] 图15B图示了本教导的双波长2D多发射器激光源照明的实施例的测量点云。
- [0025] 图16图示了本教导的另一个双波长LIDAR的实施例的测量点云。
- [0026] 图17图示了本教导的三波长LIDAR的实施例的测量点云。
- [0027] 图18图示了用于本教导的多波长LIDAR系统的照明器的实施例。
- [0028] 图19图示了可以利用图18的照明器实施例生成的测量点云。
- [0029] 图20图示了在本教导的多波长LIDAR配置中使用两个多发射器源生成的测量点云的实施例。
- [0030] 图21图示了根据本教导的由多波长LIDAR的实施例生成的测量点云,其中在整个视场上的一个波长处的测量点的密度是第二波长的一半。
- [0031] 图22图示了利用本教导的四个波长的多波长LIDAR的测量点云的实施例。
- [0032] 图23A图示了根据本教导的其中角分辨率在特定方向上变化的多波长LIDAR的实施例的VCSEL阵列布局。
- [0033] 图23B图示了根据本教导的由具有变化的角分辨率的多波长LIDAR的实施例生成的测量点云。
- [0034] 图24A图示了本教导的多模多发射器VCSEL激光源的实施例。
- [0035] 图24B图示了图24A的多模多发射器VCSEL激光源的投射光束轮廓的横截面。
- [0036] 图24C图示了图24A的多模多发射器VCSEL激光源的投射角度。
- [0037] 图25图示了根据本教导的VCSEL阵列的实施例,该VCSEL阵列包括用于测量位于VCSEL器件附近的温度的器件。
- [0038] 图26图示了根据本教导的VCSEL阵列的实施例,该VCSEL阵列包括用于控制VCSEL阵列温度的有源热控制器件。
- [0039] 图27图示了根据本教导的温度控制的VCSEL阵列的实施例,该温度控制的VCSEL阵列包括用于加热和冷却VCSEL的热电冷却器(TEC)。
- [0040] 图28A图示了本教导的紧凑型VCSEL激光驱动器组件的实施例的俯视图。
- [0041] 图28B图示了图28A的紧凑型VCSEL激光驱动器组件的实施例的侧视图。
- [0042] 图28C图示了图28A的紧凑型VCSEL激光器驱动器组件的实施例的仰视图。
- [0043] 图29图示了本教导的用于多波长LIDAR的紧凑型VCSEL激光驱动器组件的另一个实施例。
- [0044] 图30图示了用于本教导的多波长LIDAR的紧凑型VCSEL激光驱动器组件的实施例的系统框图。
- [0045] 图31图示了用于本教导的多元件多波长LIDAR系统的多波长光功率监视器的实施例。
- [0046] 图32图示了根据本教导的包括发射不同波长的激光孔径的VCSEL簇布局的实施例。

例。

[0047] 图33图示了包括图32的VCSEL簇布局的照明器的实施例。

具体实施方式

[0048] 现在将参考如附图中所示的本教导的示例性实施例更详细地描述本教导。虽然结合各种实施例和示例描述了本教导,但是并不意味着本教导限于这些实施例。相反,如本领域技术人员将认识到的,本教导包含各种替代、修改和等效物。能够访问本文教导的本领域普通技术人员将认识到其它实现、修改和实施例,以及其它使用领域,这些都在本文所述的本公开的范围之内。

[0049] 说明书中对“一个实施例”或“实施例”的引用意味着结合该实施例描述的特定特征、结构或特性被包括在本教导的至少一个实施例中。在说明书中各处出现的短语“在一个实施例中”不一定都指的是同一个实施例。

[0050] 应该理解的是,只要本教导保持可操作,本教导的方法的各个步骤就可以以任何顺序和/或同时执行。此外,应该理解的是,只要本教导保持可操作,本教导的设备和方法就可以包括任何数量或全部所述实施例。

[0051] 本教导涉及光检测和测距系统(LIDAR),该系统测量到反射和/或散射光的各种物体或目标的距离。特别地,本教导涉及有利地使用多个波长的光来提高性能并且与现有技术的LIDAR系统相比还可以减小尺寸、成本和复杂性的LIDAR系统。

[0052] 本教导的系统可以使用包括单个发射器和/或多个发射器的光源。例如,使用单个元件VCSEL或单个边缘发射激光器件的光源将被认为是单个发射器。使用布置在一个或多个基板上的多个VCSEL元件或多个边缘发射激光光源的光源被认为是多个发射器源。多元件发射器可以被配置为各种阵列配置,包括一维和二维阵列。以下描述涉及具有单发射器源和/或多发射器激光光源的各种实施例。但是,对于熟悉本领域的技术人员来说将显而易见的是,本教导的LIDAR系统的特定实施例的特征不应当被视为限于单发射器和/或多发射器激光光源,而是应该被更广泛地解释为适用于与本教导一致的单发射器和/或多发射器激光光源。

[0053] 图1图示了在车辆中实现的本教导的LIDAR系统100的操作。LIDAR系统100包括将由光源生成的光束102投射到目标场景的激光投射器(也被称为照明器)以及接收反射在那个目标场景中的物体(被示出为人106)的光104的接收器。LIDAR系统通常还包括根据反射光计算关于物体106的距离信息的控制器,以及可以扫描或提供光的特定图案的元件,该特定图案可以是跨期望范围和视场(FOV)的静态图案。接收器和控制器用于将接收到的信号光转换为表示落在LIDAR系统范围和FOV内的周围环境的逐点3D映射的测量值。在各种实施例中,取决于特定应用,控制器可以是简单的电路或更复杂的处理器。

[0054] 形成照明器的激光光源和光束投射装置以及接收器可以位于车辆108的前侧。人106和/或另一个物体,诸如汽车或灯杆,将提供从源反射回接收器的光,并且到那个物体的范围或距离被确定。如本领域中已知的,LIDAR接收器基于从光源发射的光脉冲的飞行时间测量来计算范围信息。此外,使用关于照明与特定范围相关联的目标平面中的场景的光束轮廓和基于源和投射器系统的特定设计的已知信息来确定关于反射表面的地点信息,从而生成场景的完整x,y,z或三维图片。换句话说,周围环境的逐点3D映射表示测量数据的集合,其指示来自将照明从源反射到LIDAR系统的视场内的接收器的所有表面的位置信息。以这

种方式,获得LIDAR系统的视场中的物体的3D表示。逐点3D数据映射也可以被称为测量点云。

[0055] 图2图示了表示用于汽车202的典型周围感测LIDAR系统200的二维视场和范围要求的示意图。例如,与侧面看的“周围视图”视场和范围206相比,自适应巡航控制功能可能需要具有窄视场但较长距离范围要求的视场和范围204。通常,汽车上的传感器功能可以通过LIDAR、雷达、相机和超声波传感器的组合来实现。生成关于周围环境的信息的这些传感器数据的组合通常被称为“传感器融合(fusion)”。

[0056] 虽然本教导在自动车辆的上下文中描述了LIDAR系统,其中LIDAR被广泛用于自动驾驶或自动驾驶或驾驶员辅助驾驶的车辆,但是应该理解的是,实施例可适用于任何车辆。其它类型的车辆可能包括机器人、拖拉机、卡车、飞机、无人机、船只、船舶以及其它车辆。本教导也适用于各种固定应用。例如,在高密度的大城市地区,LIDAR可以用于监视车辆和行人的流量。随着LIDAR系统的成本随着时间的推移而下降,我们可以预期看到被部署在许多不同应用中的LIDAR。

[0057] 图3图示了用于本教导的汽车302的传感器系统300。存在以各种范围和FOV操作的六个单独的LIDAR模块304,其在图中由2D楔形物示出。LIDAR模块304中的四个主要是侧视图,并且每个都具有大约120度的范围和FOV 306。前向模块被示出具有范围和FOV 308,范围和FOV 308具有最窄的FOV和最长的距离范围。

[0058] 用于汽车感测的一些现有技术LIDAR系统设计公开了应该能够解析在车前方30米距离内行走的行人以便提供足够的时间来避免碰撞的LIDAR系统。行人横截面大约为280毫米,因此LIDAR系统所需的角分辨率需要为约0.5度。参见,例如,标题为“Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) Array Laser Scanner”的美国专利号7,544,945。

[0059] 但是,本教导的一个特征是认识到汽车应用可能需要更高的角分辨率,该角分辨率在一些应用中远小于0.5度。更高的角分辨率可以使得能够实现某种形式的图像识别。例如,更高的分辨率将允许传感器系统能够区分行人和灯杆,或者两个摩托车和汽车。因此,可能需要在100米范围内的0.1度角分辨率的目标规范。对于更短的距离,角分辨率可以更小。

[0060] 图4图示了本教导的LIDAR传感器系统的一个实施例的提供作为距离的函数的水平角分辨率的表400。表400中给出的数据假设所测量的物理距离是重要参数。

[0061] 未来的车辆将采用多个低成本的LIDAR传感器以便覆盖完整的360度FOV。另外看起来与直接在车辆前方观察的LIDAR距离要求相比,对于侧视和盲点,可能存在不同的LIDAR距离要求。对于不旋转的固态LIDAR系统,可以理解FOV必须小于180度。例如,由Innoviz Technologies制造的现有技术LIDAR系统通告100度水平(H) x 25度垂直(V) FOV结合0.1度角分辨率。由Quanergy Systems制造的现有技术LIDAR系统通告120度水平FOV,其中角分辨率小于0.1度。Quanergy Systems的LIDAR使用光学相控阵列作为发射器,该发射器可以通过在激光脉冲通过阵列被投射时使激光脉冲的相位移来操纵光的脉冲。使用相控阵列的一个缺点是存在可以影响目标处的照明图案的旁瓣。本教导的固态激光源LIDAR系统不产生与相控阵列方法相关联的旁瓣。使用单波长光的现有技术系统的另一个限制是光的速度。200米的行程时间是0.67微秒,从而将LIDAR系统限制为,取决于开销,大约每微秒左右发射激光。在检测器的FOV内,激光脉冲速率通常不高于该1MHz速率,使得系统能够

识别每个测量点的返回脉冲而没有模糊。

[0062] 一些LIDAR系统在照明器中使用多个激光器来帮助提高系统性能,诸如角分辨率、刷新率和FOV。但是,现有技术的多激光源紧凑型LIDAR系统,诸如由Velodyne LiDAR™系统制造的那些系统,不能利用使用三十二个激光器的单个单元来实现任意精细的角分辨率、宽FOV和高刷新率。

[0063] 图5图示了表示可从Velodyne商业获得的LiDAR™系统的通告性能的表500。这些Velodyne系统旋转,并且因此具有360度的水平视场。在垂直方向上,32个激光器被布置成提供通告的40度视场,具有1.25度的均匀角分辨率。应该清楚的是,利用旋转系统,只能以旋转的速率刷新整个视场。同样,所有32个激光器被布置在单个垂直线中,使得系统在不旋转时基本上指向单个水平方向。这种系统通常以10Hz的旋转速率操作,以提供~0.16度的角分辨率。较慢的旋转速度可以用于实现更精细的角分辨率,但是以刷新率为代价。如果物体在旋转系统完成一次旋转所花费的时间内显著地移动,则车辆可能无法足够快地响应来避免物体或适当地围绕物体转向。为了能够以更高的速率刷新视场,期望能够在任何方向上在任何时间观察的系统。在实践中,多个旋转LIDAR系统已经在单个汽车上使用,在一些情况下多达四个LIDAR系统,以能够提供具有足够刷新率和精细角分辨率的完整360度环绕视图。

[0064] 本教导的多波长LIDAR系统的一个特征是提供相对高的刷新率。刷新率也被称为帧速率。本教导的一些实施例提供的系统刷新率至少与典型低成本CMOS相机系统的30Hz的刷新率相同,并且可能高达1kHz。为了理解高刷新率为何如此重要,考虑以100公里/小时行驶的汽车。在这些条件下,汽车将在0.1秒内移动约3米。因此,如果刷新率仅为10Hz,则汽车前方的物体将在那个时间中显著移动,从而导致分辨率的显著丢失。对于本教导的LIDAR系统,利用四个波长,在一帧中测量4,096个激光,并且脉冲持续时间为1微秒,对于单个系统刷新率为1kHz。如果使用多个系统覆盖完整的360度视场,则刷新率仍为1kHz。这假定每次测量一个脉冲。如果我们每次测量需要多个脉冲,则刷新率将更低。

[0065] 图6图示了提供与本教导的LIDAR系统的各种参数相关联的规范的表600。表600中的系统规范假定利用多发射器2D VCSEL阵列源的固态系统。为了实现该规范,需要4,096个独立的激光器。例如,这可以通过在垂直方向上使用32个激光器阵列并在水平方向上使用128个激光器来实现。在四波长系统中,每个波长需要32×32阵列。在其中激光器在250微米间距上的实施例中,32×32激光器阵列将具有8mm×8mm的占用面积(foot print)。在较低成本的其它配置中,可以使用较小的阵列。在这些配置中,系统可以使用更少的激光器来实现具有4×4毫米占用面积的阵列。利用附加的激光器可以改善系统规范。将来,我们预期我们可以获得125微米间距的激光器,从而允许在4x4毫米的占用面积中的32x 32阵列。

[0066] 期望实现本教导的LIDAR系统的模块尺寸小于125cm³,和/或侧面具有小于2.5英寸维度的模块。在一些实施例中,模块包括在同一模块中的照明器和接收器。在一些实施例中,存在用于照明器和接收器的单独模块。

[0067] 本教导的一个特征是照明器包括发射具有独立的不同的波长的光束的激光器。图7图示了根据本教导的使用两个激光器的多波长LIDAR系统700的实施例。第一激光器702以第一波长操作,并且第二激光器704以第二波长操作。激光器可以包括集成的或单独的准直光学器件(未示出),该准直光学器件形成光学投射元件的一部分,该光学投射元件用于在

跨LIDAR系统的FOV和范围的各种目标平面处形成光束轮廓。照明器706还可以包括光学器件708,光学器件708进一步使光束成形并投射光束以在目标平面710处形成特定光束轮廓。在各种实施例中,可以使用各种类型的光学器件来形成投射元件,包括例如,透镜、衍射光学器件、棱镜、薄膜波长敏感器件和部分反射镜中的一种或多种。

[0068] 接收器712接收在LIDAR系统的FOV和范围中的各个目标平面710处从物体的表面反射的光。接收器712可以区分来自源702、704发射的两个波长的光。因此,来自每个波长的反射照明被单独处理。控制器714用于处理接收到的光。控制器714在输出716处提供LIDAR数据。控制器714的复杂性取决于LIDAR系统的特定实施例。控制器714可以用于控制激光源702、704。在各种实施例中,控制器714可以包括电路、电子芯片、微处理器或计算机中的任何一种或全部。将N个波长的激光添加到图7所示的实施例中是直截了当的。在一些实施例中,存在使光准直并提供期望FOV的附加光学元件。

[0069] 本文中将投射元件描述为在特定方向上使激光束或多个激光束准直或以其它方式成形和投射的元件。投射元件可以包括位于光束路径中的一个或多个光学器件。这些器件及其位置连同从激光源发射的光束的初始形状和路径一起产生期望的光束轮廓,该光束轮廓是在空间中的特定点处的光束形状和/或光束位置的组合。

[0070] 在一些实施例中,使用附加的光学器件来投射来自激光源的光束。图8图示了使用本教导的两个单发射器激光器802、804和波长组合器806的多波长LIDAR系统的照明器800的实施例。具有不同波长的两个激光源802、804在两条路径上生成两个光束808、810。波长组合器806用于将光束组合到两个平行路径812、814上。在一些实施例中,平行路径是偏移的,如图8所示。在一些实施例中,平行路径完全重叠。在一些实施例中,波长组合器806之后的路径不一定是平行的,而是被布置成在LIDAR系统的FOV和范围中的目标平面处产生期望的光束轮廓。波长组合器806的使用允许系统的物理布局和由LIDAR生成的相关联光束轮廓的附加灵活性。

[0071] 本教导的一个特征是能够使用不同波长在紧凑系统中产生不同的LIDAR FOV、范围和/或分辨率。以两个或更多个波长的光束可以能够共享形成投射元件的至少一些相同的光学器件,并且仍然实现不同的光束轮廓,这些光束轮廓产生表示在每个波长的不同范围和/或FOV和/或分辨率的测量点云。例如,使用信号波长的现有技术LIDAR系统的一个问题是达到100米范围所需的发射功率太高,以至于对于近距离反射(例如,几米),接收器饱和。这意味着这些现有技术的LIDAR系统对近处物体是看不见的。这个问题可以用双波长系统来解决,其中第一波长用于100米范围,而第二波长具有低功率仅用于近距离测量。使用双波长,由于并行操作能力,因此测量可以是同时的。扩展到超过两个波长是直截了当的。

[0072] 本教导的另一个特征是可以添加具有附加波长的激光器以执行除LIDAR测距之外的其它功能。例如,可以添加附加的激光器以提供对LIDAR系统内的光学器件的朝向的测量。来自这些光源的附加波长的光可以用作提供投射光束和/或复制或扫描光束的元件的角度测量的单一目的。在一些实施例中,MEM器件用于投射光束,并且具有镜子位置的直接反馈会是重要的。与适当的接收器测量系统组合的另一个激光器可以提供镜子位置的直接角度测量。上述实施例的自然扩展将是在每种情况下使用相同波长的多个激光器,即,每个波长的激光器的1D或2D阵列,而不是每个波长的单个激光器。

[0073] 本教导的多波长LIDAR系统的一些实施例使用包括多个接收器的接收器,每个接收器独立地检测不同波长的光。图9图示了本教导的使用多个接收器902用于不同波长的接收器900的实施例。在该实施例中,从在LIDAR系统的范围和FOV中的目标平面处的物体反射的反射光904被两个或更多个接收器902检测到。每个接收器902能够检测单个波长。使用该实施例用于接收器的多波长LIDAR系统可以使得能够同时操作不同的激光波长,其中来自每个波长的脉冲信号在时间上重叠。

[0074] 在LIDAR系统的实际实现中,对电子器件的速度和各种部件的光电带宽存在物理限制。其中激光波长能够被单独且同时检测到的多波长LIDAR实现可以显著减少这些物理限制的影响。这导致LIDAR系统的整体性能更高。

[0075] 本教导的多波长LIDAR系统的一个特征是在模块中包括光学性能监视。由于各种原因,LIDAR模块内的光学性能监视可能是重要的。例如,在照明器组件内部结合光功率监视可以改善校准、性能和可靠性监视。激光器随着使用期而降级,因此在光离开投射器时监视投射器组件本身内的激光输出功率可能是有用的,而不仅仅依赖于在光从外部物体反射之后接收到的光学信号。而且,监视VCSEL激光器附近的温度可以有助于提高可靠性和性能。监视温度和功率不仅可以用于诊断,而且还可以用于在操作期间控制激光器以提高系统的性能和/或使用期。

[0076] 本教导的多波长LIDAR系统的性能监视器的一些实施例使用光功率监视。众所周知,监视来自发送器的激光输出功率并将它与预期参考值进行比较将允许检测或者来自激光器本身或者来自光机械组件的光发送器性能的下降。例如,标题为“System and Method for Monitoring Optical Subsystem Performance in Cloud LIDAR Systems”的美国专利申请公开号US 20160025842 A1描述了为云测量设计的LIDAR系统的激光输出功率监视的益处。在本教导的多波长LIDAR系统的实施例中,使用光功率监视可以改进这些现有技术系统,从而提供更好的角分辨率以及多波长LIDAR操作的其它特征。

[0077] 本教导的功率监视元件监视从照明器内的光学器件反射的光。在照明器内检测到的反射光不仅可以用于被动监视目的,还可以用于提供对激光器电流偏置的附加控制。激光二极管具有一系列操作偏置电流。在许多激光系统(不一定是LIDAR应用的激光系统)中,激光器以闭环方式操作,其中接收到的来自监视二极管的光电二极管电流用作偏置控制环路的输入。通过监视和维持主要作为入射功率的线性函数的监视器光电二极管电流的恒定值,系统将能够对系统稳定性的变化(诸如温度或机械移位)做出反应,并维持改进的输出功率稳定性。而且,这种激光偏置的监视和控制可以在其使用期内适应激光器的一些降级量,而不会在系统级别损失光功率。

[0078] 用于本教导的LIDAR系统的性能监视器的一些实施例监视光的一个或多个参数。可以监视在照明器中检测到的反射光的激光波长、光功率、脉冲定时和脉冲频率。可以通过使用包括接收器的功率监视器来检测波长,该接收器不仅仅是光电二极管,而是允许检测波长以及光功率的更复杂的光学器件组。在使用多个波长的LIDAR设计中,特别是如果波长接近绝对值,那么可能期望监视它们的绝对值或相对值,以便确保系统参数符合预期。监视激光器的绝对波长或不同波长的激光器之间的相对偏移的各种方法在本领域内是已知的。例如,基于标准量具的器件可以用作波长监视器。

[0079] 多波长功率监视还提高了用于检测故障是由激光降级引起的还是由光学性能的

变化引起的系统鲁棒性。如果一组波长发生故障,那么多波长功率监视也提供冗余。如果对每个波长的光学监视是独立的,那么一组波长的操作中的部分或完全故障仍将允许使用另一组波长来部分操作系统的能力。

[0080] 本教导的多波长LIDAR系统的另一个特征是它们可以抵抗或免受来自各种光源的干扰。众所周知,一些LIDAR系统可以使用相对简单的激光指示器或激光测距仪技术结合记录然后重放来自LIDAR系统的发射信号的方法来进行阻塞或欺骗。如果黑客可以创建其它汽车、行人甚至墙壁的假图像,那么它对汽车和驾驶员的安全构成潜在的重大风险。

[0081] 此外,随着更多的LIDAR系统被部署,具有不受来自其它LIDAR系统的干扰的系统变得越来越重要,这种干扰无论是来自其它车辆还是来自固定交通监视。在各种实施例中,可以包括脉冲信号的加密。但是,即使没有加密,根据本教导的多波长系统也可以在使用或不使用加密脉冲的情况下基于波长确认接收到的数据是真实的。例如,本教导的多波长LIDAR配置的一些实施例允许独立使用每个波长,使得如果一个波长被“阻塞”,那么另一个波长将仍然可用以便继续操作。这些系统可以确认潜在的安全性风险,和/或使得能够对非预期系统干扰进行受控的响应。因此,与单波长LIDAR相比,本教导的多波长LIDAR系统提供增强的安全性并防止致盲、阻塞、重放、中继和欺骗攻击。

[0082] 本教导的多波长LIDAR系统的另一个特征是改进的系统准确度,和/或对接收器和处理电子器件的要求降低。这些益处通过使用多个波长来实现。考虑汽车LIDAR系统所需的采样率。以每小时100公里(kph)移动的汽车以大约每毫秒28毫米(mm/msec)的速度行驶。如果两辆车相互接近,那么相对距离将以该速率的两倍或56毫米/毫秒减小。对于在跨整个视场准确的系统,在每个测量点的50毫米(~2英寸)的距离准确度的情况下,我们需要能够在该时间期间扫描完整的FOV。

[0083] 为了简单起见,假设使用与特定期望的3D逐点测量地点一一对应的1,000个激光簇的多源LIDAR系统。对于跨整个FOV的位置准确度,如上所述,我们将需要每1毫秒扫描所有1,000个激光器。对于其中我们一次只能操作和检测一个激光器的单波长系统,这意味着我们每个激光器只有1微秒(μsec)时间来获取该测量点的位置信息。在其中我们可以同时操作两个不同波长的激光器的多波长LIDAR系统中,每个激光器所允许的时间将加倍,并且我们每个测量点可以具有 $2\mu\text{sec}$ 。该附加的时间可以用于以一种或多种方式提高性能和/或可靠性。例如,附加的时间可以用于例如通过取得附加的采样并求平均值来提高信号完整性。附加的时间也可以用于降低电子器件所需的数据速率。此外,附加的时间可以用于实现更鲁棒的编码方案。

[0084] 本教导的多波长LIDAR系统的另一个特征是使用激光脉冲的更高级调制和编码。这种调制和编码可以采用许多已知的用于光信号的高层编码技术的形式,这些技术用于提高接收器的光子效率、加密信号和/或提高抗干扰性。通过结合高阶调制而不是发送简单的二进制开/关脉冲,我们可以使得能够实现编码/加密。期望编码/加密是因为它可以降低安全性风险和来自其它激光系统的干扰。可以实现的已知的更高层调制和编码方案包括例如脉冲位置调制、相位调制、频率调制(包括子载波频率调制)、振幅调制、偏振调制、扩频以及其它。

[0085] 图10图示了根据本教导的用于多波长LIDAR的简单编码方案1000的实施例。顶部曲线图1002呈现作为时间的函数的简单的非编码二进制脉冲光功率。脉冲宽度通常为30至

200纳秒(nsec)的长度,因为大多数LIDAR系统每个脉冲具有仅1 μ sec的总窗口。

[0086] 底部曲线图1004图示了简单的基于振幅的编码方案,其中我们已将脉冲分解为六个部分,每个部分具有四个可能的电平。第一部分可以固定在最大功率并用于TOF测量的定时以及设置剩余脉冲的参考信号振幅。但是,最后五个部分的信号电平可以有四种可能的振幅电平的变化。所描述的脉冲然后将为我们提供1,024个独特的脉冲形状。因此,1,000个激光器LIDAR系统中的每个激光器可以具有其自己的脉冲形状或唯一编码签名。使每个激光器具有其自己的唯一编码签名允许接收器电子器件解码信号并精确地识别哪个激光器发出该信号。通过每个激光器的唯一编码签名以及能够在匹配任何给定激光脉冲的预期唯一编码签名并与接收到的实际脉冲进行比较方面关闭接收器和发送器之间的环路来提高安全性。

[0087] 本教导的多波长LIDAR系统的另一个特征是使用并行处理。添加更高阶调制以便编码/加密激光脉冲需要更高速的电子器件和更复杂的信号处理方法。由激光驱动器、激光器和物理互连组成的完整激光器电路的光电(O/E)带宽必须足够高,以适应更高阶的调制带宽。

[0088] 接收器带宽可能是个约束。为了更好的光学耦合或实现接收器捕获更多的光,(一个或多个)接收器光电二极管的孔径(即,光敏区域)应该大。但是,为了改善带宽和频率响应,期望具有更小的孔径尺寸。因此,可以做出妥协。使用多个波长可以通过使得能够并行处理测量点来提供帮助,这种并行处理有效地产生附加的时间,该附加的时间可以用于帮助减少电子器件、带宽和接收器设计的系统约束。例如,参考图10,我们已描绘了具有零上升和下降时间的光脉冲形状。实际系统将具有光信号的有限上升和下降时间,如果该时间足够长,那么将使振幅调制降级。本文描述的一些实施例使得能够全面优化接收器的光电RF性能以支持编码/加密。

[0089] 在单波长LIDAR系统或不依赖于多个独立波长的LIDAR系统中,通常一次仅偏置一个激光器,因为接收器不能区分来自相同波长的多个激光器的光。例如,在多波长通信应用中,已知具有多于一个波长的系统使得能够同时操作多于一个激光器,即,所谓的并行操作。类似地,使用不同波长的LIDAR系统可以使得能够以较低数据速率编码/加密脉冲。这使得允许使用更低速和更便宜的部件,和/或使得能够进行更强大的加密。这部分是因为接收器可以被设计成同时测量不同波长的光。例如,用于多波长系统的接收器可能具有两个单独的光电二极管元件,每个元件被滤波以仅接收来自一个波长的光。

[0090] 用于汽车应用的早期LIDAR系统,包括第一辆自动驾驶汽车,采用从旋转镜反射的单个高功率激光器,其中反射的激光束用于执行环境的扫描。使用旋转镜的LIDAR系统增加了复杂性,并且因此移动的零件存在潜在的机械可靠性问题。为了避免使用旋转镜,已经提出LIDAR系统用多个激光器代替单个激光器。参见,例如,标题为“Distance Measuring Apparatus”的美国专利号5,552,893。通过使用多个激光器,不再需要利用旋转镜来执行扫描。多个激光器可以以某种方式机械地或光学地作为组移位,或者个体激光器的数量可以足以与环境的逐点映射的期望粒度具有一对一的关系。通常,非常期望具有没有移动的零件的“固态”系统以获得更好的机械可靠性,但是存在与使多个激光器足够大以具有一对一映射相关联的显著成本和复杂性。

[0091] 在本教导的LIDAR系统的一些方面,使用垂直腔面发射激光器(Vertical Cavity

Surface Emitting Laser, VCSEL) 阵列来提供多个激光器。VCSEL 阵列具有许多期望的特征, 诸如提供圆形光束发散、能够在单个基板上制造、高电光效率和低成本。

[0092] 如前所述, 一些估计表明为了提供充分的时间来避免碰撞, LIDAR 系统应该能够解析在汽车前方 30 米距离处行走的行人。行人横截面大约为 280mm, 因此 LIDAR 系统所需的角分辨率需要为 -0.5 度。为了使多个激光器在激光器和环境的 3D 逐点映射之间具有一对一的映射, 通过将系统 FOV 除以角分辨率要求来计算所需激光器的数量。典型的 LIDAR 系统可能具有 20 度 FOV, 其可以包括 40 个激光器以满足解析在 30 米处的行人的角分辨率要求。注意的是, 该计算仅用于将生成 2D 信息的一个方向。垂直方向需要类似的计算。如果系统在水平和垂直上都具有 20 度 FOV, 那么将需要 1,600 个激光器。使用 1,600 个单独激光器的系统对操作的复杂性、组件和成本带来很大挑战。已知的 LIDAR 系统公开了使用较少数量的激光器, 但是将它们作为组移位以使用各种器件 (诸如音圈、压电换能器、步进电机、形状记忆转换器和振动电机) 实现所需的分辨率。例如, 参见标题为 “Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) Array Laser Scanner” 的美国专利号 7,544,945。

[0093] 一些已知的 LIDAR 系统使用 VCSEL 阵列以及可移动透镜系统来使光束移位。当透镜被移动时, 每个激光束指向不同的方向。通过选择性地电偏置每个激光器结合透镜系统的适当移动, 实现视场的完全映射。VCSEL 阵列可以由多个独立的 VCSEL 芯片或 VCSEL 芯片的子阵列形成。可移动透镜可以由压电换能器或其它机械装置致动。参见, 例如, 标题为 “Scanning Apparatus and Associated Methods” 的美国专利号 6,680,788。

[0094] 根据本教导的 LIDAR 系统的一些实施例使用多个半导体激光器, 其中激光器具有多于一个激光波长。本文描述的具体实施例包括使用不同波长的半导体激光器以使得与单激光波长系统相比 LIDAR 系统具有相对较高粒度的 3D 逐点映射。本教导的一个特征是可以实现 3D 逐点映射的相对较高粒度, 而不需要在 LIDAR 系统内使用可移动透镜系统或其它可移动零件。

[0095] 与仅使用一个激光波长的系统相比, 根据本教导的使用多个激光波长的 LIDAR 系统的实施例可以显著改善粒度或角分辨率, 同时维持整个系统的紧凑机械尺寸。如前所述, 非常期望汽车 LIDAR 系统对于跨 FOV 的每个测量点具有小于 0.5 度的粒度, 以便能够以高准确度检测在 30m 处的行人。完美准直的光束是具有零发散度的光束, 但在实际系统中, 可以理解发射的激光束的属性以及光学和机械组件与理想的偏差阻止了完美准直光束的实现。

[0096] 在具有多个激光器的 LIDAR 系统中准直激光束有两种通用方法。在第一种方法中, 来自每个独立激光器的光通过其自己的专用透镜或透镜系统被单独地准直。在第二种方法中, 利用共享光学系统执行多个激光束的准直。

[0097] 另一种现有技术的 LIDAR 系统包括位于弯曲基板上的激光器, 并且对于每个激光器使用独立的透镜。参见, 例如, 标题为 “Low Cost Small Size LIDAR for Automotive” 的美国专利公开号 2015/0219764。该专利申请描述了具有 FOV 和可以被独立设置的准直的系统。即, 准直的程度可以由用于每个激光器的各组光学器件控制, 而与期望的 FOV 无关。但是, 准直存在物理限制。VCSEL 器件既具有有限的光束直径又具有有限的发散角。对于典型的 850nm VCSEL 器件, 将需要 0.2 的数值孔径 (NA), 具有几毫米焦距 (和物理直径) 的折射光学器件, 以产生具有小于 0.5 度发散度的光束。各个透镜的直径将在物理上限制相邻激光器之间的间隔。应当注意的是, 用于准直来自多个激光器的光的各个透镜系统可能是以阵列

的形式,而不是物理上分离的元件。但是,对相邻激光器的间隔的限制将仍然是一个因素。

[0098] 一些现有技术的LIDAR系统使用在基板上以图案布置的多个VCSEL,其与在每个VCSEL器件上形成的一对一的多个微透镜组合。参见,例如,标题为“Laser Arrays for Variable Optical Properties”的美国专利公开号US2015/0340841A1。每个透镜都将准直并设置来自VCSEL器件的激光束的投射角度。可以通过使主透镜轴偏移VCSEL中心轴来实现指向角。一些已知的LIDAR准直系统中的VCSEL是背面照明的,并且透镜位于基板的与VCSEL孔径相对的表面上。在这些VCSEL中,基板需要对VCSEL的波长透明。也可以使用顶侧照明VCSEL并在与VCSEL孔径相同的表面上形成透镜。

[0099] 使用多发射器VCSELs的一些现有技术LIDAR系统具有紧凑的设计,其中VCSEL元件的透镜和间隔在几百微米的量级。这些系统提供的光学系统基本上与VCSEL阵列芯片具有相同的机械比例。但是,这些系统具有显著的缺点,包括不能实现小的角分辨率,因为来自个体器件的偏差不能任意低。这样的系统的性能将受到透镜尺寸和曲率的限制。在这样的系统中,发散度不能被设定为任意小,特别是对于其中透镜和发射VCSEL孔径偏移的器件。光束直径和发散度是线性相关的。

[0100] 通过检查,我们知道该系统的放大率小,并且激光束直径不能通过这样的透镜系统显著地扩展。对于具有小于0.5度的发散度的这种方法,VCSEL器件本身的数值孔径必须初始地开始小,远低于850nm顶侧照明VCSEL的典型0.2NA。要求VCSEL器件具有固有的小数值孔径可能会通过影响VCSEL输出功率和波长限制这种方法的实用性。此外,由于相同的透镜用于准直和用于设置投射角度,因此这对透镜设计造成附加的约束,因为透镜的半径变得取决于期望的投射角度,其可能是与用于准直的最佳半径不同的透镜半径。

[0101] 在包括以单个波长的多个激光器的现有技术LIDAR系统中发现的第二种准直方法是使用共享光学系统来准直多个激光器。在这些系统中的一些系统中,单个大透镜用于准直以及设置每个VCSEL器件的投射角度。应当注意的是,代替单个透镜,也可以使用两个或更多个透镜,而不改变用于准直的共享透镜系统的基本概念。将共享光学器件用于准直和投射角度的一个方面是在相对于透镜的中心轴的VCSEL器件的横向位置和投射的激光束的指向角之间存在直接映射。具有相同或相似波长的两个VCSEL激光器之间的横向距离将对应于由共享透镜系统产生的投射角度的差异。

[0102] 此外,由于VCSEL器件不是理想的点源,而是具有有限的横向尺寸,因此在也不缩小整个光学系统的FOV的情况下,将存在不能被光学器件降低的附加发散度。此外,取决于VCSEL的有限尺寸、准直光束的发散度、VCSEL器件的数量以及FOV和其它参数,使用具有相同或相似波长的激光器的共享光学方法可能导致3D测量跨度中的光束重叠或间隙。

[0103] 本教导的LIDAR系统的一个特征是使用具有发射孔径的簇的VCSEL芯片以利用由这些器件提供的更高光功率和大直径簇。如本文所述,VCSEL器件不是理想的点源,而是具有有限的横向维度。此外,用于LIDAR照明的高功率顶部发射VCSEL激光器通常使用多个发光孔径来达到所需的高功率输出。这些多个孔径形成簇或组,并且理想地尽可能地物理上靠近,同时仍然维持所需的电光效率。

[0104] 图11图示了包括由21个独立的孔径1104形成的簇1102的现有技术的簇VCSEL器件1100的图。21个独立的发光孔径1104形成簇1102。VCSEL簇1102内的VCSEL孔径1104并联电连接,并且因此必须被一起偏置。来自簇VCSEL器件1100的所需输出功率对于每个系统设计

而言不同,但是在脉冲操作期间通常超过1W的峰值光功率,以便整个LIDAR系统满足可接受的信噪比。参见,例如,标题为“High Power Top Emitting Vertical Cavity Surface Emitting Laser”的美国专利号8,247,252。

[0105] 光学系统设计的一些关键参数是簇VCSEL芯片的横向尺寸(维度)、VCSEL簇1102的直径结合各个VCSEL孔径1104的数值孔径。这些参数将确定用于准直的透镜要求。VCSEL簇1102的横向维度越大,准直所需的焦距越大。较大的横向维度通常导致物理上较大的光学系统。

[0106] 根据本教导在LIDAR系统中使用VCSEL器件的一个特征是能够在单个芯片上具有多个簇VCSEL器件。图12A图示了包括多个簇VCSEL器件1202的阵列1200。图12A图示了二维阵列中的二十五个簇VCSEL器件1202。阵列用可以被独立地偏置的二十五个独立的簇VCSEL器件1202的触点1204形成。

[0107] 图12B图示了包括多个簇VCSEL器件1252的阵列1250。图12B图示了阵列被布置成包括与触点1254连接的五个簇VCSEL器件1252,触点1254形成五个条,每个条包括五个簇VCSEL器件1252。对于熟悉本领域的技术人员将显而易见的是,也可以产生单个单片2D VCSEL阵列。

[0108] 图12C图示了在2D单片VCSEL阵列中包括多个簇VCSEL器件1274的芯片1272的阳极金属接触垫1270的俯视图。图12C中所示的芯片是顶侧照明的VCSEL阵列。单列中所有VCSEL的所有阳极都通过单个金属触点连接在一起。

[0109] 图12D图示了包括图12C中所示的多个簇VCSEL器件的芯片1272的阴极金属接触垫1276的仰视图。单行中的所有阴极都通过单个金属触点连接在一起。利用这种金属化图案,可以通过以期望的偏置电平偏置每个行和列触点来操作各个VCSEL器件1274(图12C)。对于具有5行和5列的该特定实施例,如果VCSEL器件1274被独自连接,则仅需要10个电连接而不是25个电连接。本领域技术人员将认识到的是,这是众多可能的电寻址配置之一,并且本教导不限于发射器的特定行和列的几何形状。随着2D VCSEL阵列的尺寸增加,这种减少电连接数量的优点更大。通常,当一组激光发射器的阳极连接到一个触点,并且第二组激光发射器的阴极连接到第二触点时,只有既属于第一组激光发射器又属于第二组激光发射器的那些各个激光器,即,具有连接的阳极和阴极的那些激光发射器,将在第一触点和第二触点被适当偏置时被激励。取决于连接的配置,使用连接到一组激光发射器的阳极的一个触点和连接到第二组激光发射器的阴极的第二触点可以用于对于特定的偏置条件激励一个激光发射器或成组的激光发射器。

[0110] 现有技术的LIDAR系统不利用不同的激光波长来使得能够改善LIDAR系统的角分辨率。本教导的LIDAR系统的一个特征是它们使用多个激光波长来使得能够以低成本、紧凑型光学设计实现更精细的角分辨率和性能。此外,本教导的多波长LIDAR系统提供了如本文所述的改善安全性和并行化的简单途径。

[0111] 本教导的LIDAR系统的一个特征是使用多波长激光源用于使用共享透镜系统在期望的视场内准直和投射激光束的LIDAR系统。图13图示了用于本教导的多波长LIDAR系统的多元件发射器激光源1300的实施例。包括簇VCSEL器件1302的多个激光器都位于公共表面1304上。表面可以是如图所示的平坦的,或者是弯曲的。

[0112] 图13图示了具有在垂直方向上均匀交错的两个不同VCSEL波长的多元件发射器激

光源1300。图13中所示的实施例图示了单个公共基板1304,但是对于本领域技术人员将清楚的是,也可以使用多个基板。存在六个VCSEL条1306,1308。条1306的簇VCSEL器件1302以一个共同波长发射。这些是在图中标记为“VCSEL λ_1 ”的条1306。黑条1308的簇VCSEL器件1302以不同波长发射。条1308在图中被标记为“VCSEL λ_2 ”。总共示出了30个簇VCSEL器件1302。

[0113] 结合图13的多元件发射器激光光源1300使用的照明器使用共享透镜系统用于在期望的FOV内准直和投射光束。图14图示了用于本教导的多波长LIDAR系统的照明器1400的实施例的横截面图。照明器1400包括多发射器激光光源1402,以及包括波长多路复用器1406和透镜1408的投射元件1404。投射元件1404用于投射从激光光源1402发射的激光束1410、1412。用于多发射器激光光源1402的发射器位于VCSEL基板1414上。图14图示了来自两个VCSEL条的不同波长的光如何穿过系统。为了清楚起见,仅示出了来自两个VCSEL发射器的激光束1410、1412被光线跟踪。

[0114] 在图14中,投射元件1404包括两个光学器件1406、1408。第一光学器件是波长多路复用器1406,该波长多路复用器1406是波长敏感光学器件,其用于将以两个波长之一并且来自一条光路的激光束1410与位于另一条光路上的以两个波长中的另一个波长的激光束1412组合到公共光路上。在一些实施例中,波长多路复用器包括衍射光学器件,该衍射光学器件被设计成基本上使一个波长的光路移位,同时让第二波长不受干扰地通过。衍射光学元件在本领域中是众所周知的,并且可以用于提供激光的精确光束操纵和光束整形。此外,衍射光学元件可以是波长选择性的。在其它实施例中,使用折射光学器件(诸如棱镜)的阵列。第二器件是透镜1408,其用于进一步投射和使激光束1410、1412成形,以在LIDAR系统的目标平面处形成期望的光束形状图案和光束位置。

[0115] 来自自由照明器在目标平面处形成的光束轮廓的光从该目标平面中的物体的表面反射。LIDAR系统中的目标平面是在完整的范围和FOV内操作的虚拟参考点。在距离LIDAR模块不同距离处存在许多不同的目标平面,使得系统可以生成被LIDAR系统探测到的视场和范围中的物体的三维表示。

[0116] 由目标平面中的光束轮廓照明的物体的表面反射的光的一部分被引导到接收器。接收器检测到光,从而将接收到的光信号转换为电信号。连接到光源和接收器的控制器将接收到的信号转换为测量点云。测量点云中的点的角分辨率取决于目标平面处的光束轮廓的相对位置,如下面进一步描述的。本领域技术人员将清楚的是,存在图14中所示的照明器1400的实施例的许多其它变型。例如,VCSEL激光器可以位于公共表面中,可以是或者平面的或者弯曲的。还将清楚的是,在不改变图14的实施例的原理的情况下,允许VCSEL从中心表面(弯曲的或平坦的)的一些偏离。

[0117] 图15A图示了用于本教导的单波长2D激光光源照明的实施例的测量点云1500。测量点1504的垂直间隔1502之间表示的距离确定垂直角分辨率,并且点云上的点的水平间隔1506确定点云的水平角分辨率。

[0118] 图15B图示了用于本教导的双波长2D激光光源照明的实施例的测量点云1550。对应于具有 λ_1 的VCSEL的测量点被示出为圆圈1552,具有带 λ_2 的VCSEL的测量点被示出为三角形1554。将该测量点云想象成包括从在 λ_1 处接收到的反射导出的点云和从在 λ_2 处接收到的反射导出的点云的复合点云是有用的。

[0119] 图15B中所示的测量点云1550可以使用具有图13中所示的不同波长的VCSEL发射器的图案的多发射器激光源以及图14的照明器配置来实现。来自目标平面处的照明器生成的光束的光的一部分被物体的表面反射并入射在能够检测到特定波长的光的一个或多个光接收器上。结果得到的测量点云1550包括表示来自处于不同波长的不同光束轮廓的光的点。

[0120] 参考图13-15,不同波长的VCSEL条1306、1308在垂直方向上占据激光源的不同行,并且不同行中的各个VCSEL器件1302的中心在水平方向上偏移。来自不同波长条的发射器的光束被投射元件1404投射,使得光束位置在垂直方向上在目标平面处稍微偏移。这导致测量点云中的偏移1556。相邻条中VCSEL的中心位置的偏移与投射元件的设计一起使得表示每个波长的测量点沿着偏移垂直线水平交错。给定维度中的测量的角分辨率与该维度中的点的偏移直接相关,该偏移与目标平面处的该维度中的光束的位置直接相关。

[0121] 参考图15A和图15B,与使用双波长分辨率相关联的性能折衷是清楚的。在图15B的实施例中,一个波长的光束基本上不间断地行进,但是第二波长的光束有意地在位置中移位以在一个方向上与第一波长的光束基本重叠。可以基于波长多路复用器的设计来调整图15B中的图中所示的每个波长的光束位置的偏移1556。例如,在一些实施例中,这需要适当地设计图14中的波长多路复用器1406。在各种实施例中,投射元件中的各种器件用于在两个波长定位激光器的光束。这些相同的器件或其它器件可以改变光束形状以及它们在目标平面处的位置。

[0122] 与图15A的单波长实施例相比,图15B的实施例以在垂直方向上将角分辨率减半为代价在优选方向上(在这种情况下是水平方向)使角分辨率加倍,同时保持系统的整体物理尺寸相对恒定。在一些应用中,在一个方向上更精细的分辨率可能是优选的或必要的,例如,如果系统需要区分具有仅100mm的横截面的杆或树而不是行人。在30米处,我们将需要角分辨率小于0.15度。杆和树高但窄,因此非常期望在水平方向上具有非常小的角分辨率,以在垂直方向上更宽的角分辨率为代价。在一些实施例中,测量点云的角分辨率在从目标平面到光学投射元件的预定距离处小于0.4度。

[0123] 图16图示了用于本教导的双波长LIDAR的实施例的测量点云1600。在该实施例中,我们没有在垂直方向上放弃任何分辨率,但是已经能够以两倍的角分辨率添加单条线1602。在FOV中的线1602的这一垂直位置处,我们已在水平方向上使角分辨率加倍。还应该注意的,在中心位置处,在一组VCSEL波长无法操作的情况下,我们具有冗余。可以以多路复用器的复杂性为代价添加如单行1602那样的多行。

[0124] 图17图示了用于本教导的三波长LIDAR的实施例的测量点云1700。在该实施例中,通过针对三个波长调整目标平面处的光束位置来生成测量点云。由该测量点云提供的视场和分辨率取决于由激光源和投射元件提供的光束轮廓的细节。在一些实施例中,通过使用小透镜准直激光发射器来提供轮廓。在一些实施例中,小透镜与VCSEL器件集成在一起。多个波长的准直光束被定位并定向到波长敏感元件,该波长敏感元件沿着朝目标的共同方向投射不同波长的光束。通过适当设计波长敏感元件和VCSEL的物理布局,我们可以生成在一个方向上具有3倍角分辨率的系统,这再次以在垂直方向上大约1/3的分辨率为代价,如测量点云1700中所示。因为来自三个波长中的每个波长的光被独立地接收,因此由每个测量点表示的位置可以部分地或完全地重叠,从而增加测量点云的分辨率和/或提供冗余测量

点。在图17的实施例中,测量点云1700增加的分辨率在水平方向上提供。在各种实施例中,取决于VCSEL器件的布局和波长多路复用器的特定设计,也可以改变更高角分辨率的方向,从而变为垂直或甚至对角线方向。

[0125] 本教导的一个特征是作为单个元件发射器或以不同波长操作的多元件发射器的光源不需要位于同一表面上,并且表面可以沿着三维空间中的不同空间平面被定向。例如,平面可以在两个正交平面上。在一些实施例中,我们使用由具有不同波长的至少两组激光器组成的多个表面发射激光器。我们还利用三维空间并且每组激光器被定向在两个或更多个平坦的或弯曲的表面中,这些表面不一定是正交的。在该实施例中,相对于其中激光器共同位于公共表面上的实施例,封装和光学对准复杂性增加,但是我们能够在两个正交方向上增加跨整个视场的分辨率角度,而无需任何妥协。这既提供了更高的精确度又提供了对与多于一个波长相关联的所有能力的完全访问。即,可以实现多波长操作的同时操作、冗余、安全性和其它特征。

[0126] 图18图示了用于本教导的多波长LIDAR系统的照明器1800的实施例。在该实施例中,我们使用由具有不同波长的至少两组激光器组成的多个表面发射激光器,VCSEL λ_1 1802和VCSEL λ_2 1804。我们还利用三维空间,并且VCSEL λ_1 1802和VCSEL λ_2 1804被定向在两个正交的表面中。通过使用通过一个波长同时反射第二波长的波长多路复用器1806来组合光束。

[0127] 图18图示了组合来自具有两个不同波长的两组激光器VCSEL λ_1 1802和VCSEL λ_2 1804的光的基本原理。一个波长的一组发射器VCSEL λ_1 1802位于公共表面上。不同波长的第二组发射器VCSEL λ_2 1804被正交定向在第二表面上。波长多路复用器1806可以例如通过使用薄膜滤波器来实现,该薄膜滤波器允许第一波长未偏转地通过,而第二波长被偏转45度,并且输出光束被组合。为了简单起见,我们已经示出由两个相等的三角形横截面棱镜形成的立方体形状的多路复用器1806,其中反射或通过波长的薄膜滤波器位于立方体的中心平面处,其中两个三角形棱镜接触。

[0128] VCSEL λ_1 1802和VCSEL λ_2 1804的两个基板的位置可以相对于波长多路复用器1806横向移位,以产生两个光束的期望重叠或交错。图19图示了可以利用图18的照明器实施例生成的测量点云1900。

[0129] 本教导的一个特征是提供其中每个波长具有不同角分辨率的多波长LIDAR系统。不同波长的光束轮廓可以基本上不同,以便允许不同的操作范围。对于这些实施例,我们利用了我们具有可以单独检测多个波长的接收器的事实。

[0130] 图20图示了在本教导的多波长LIDAR配置中使用两个多元件发射器源生成的测量点云2000的实施例。如从第一波长生成的测量点云2000的点2002和从第二波长生成的点2004可以看出,每个波长在垂直轴上具有不同的角分辨率。因此,两个波长的测量点云的垂直分辨率基本上不同,在这种情况下是两倍。

[0131] 在图20的实施例中,在线2006处也存在两个波长的重叠区域,这导致在该地点处更高的角分辨率。与单波长设计相比,这种设计使得能够实现更低的成本和复杂性,因为它依赖于更少的VCSEL激光器来实现特定分辨率。对于一些特定应用,可以接受在垂直FOV中较稀疏的3D测量。一个这样的示例是当垂直高度高于车辆时。在图20所示的实施例中,角分辨率的变化是由VCSEL器件在其(一个或多个)基板上的不对称布局生成的。

[0132] 图21图示了根据本教导的由其中来自跨整个视场的一个波长的测量点2102的密度是第二波长的测量点2104的密度的一半的多波长LIDAR的实施例生成的测量点云2100。如果第二波长以与第一波长不同的方式被使用,那么这种配置是所期望的。例如,如果两个波长旨在用于不同的距离范围,那么角分辨率可以是不同的。这在图4的表中示出。角分辨率差异的其它原因可能包括使用第二波长用于更快的整体扫描,或者提高安全性,或者用于简单的部分冗余。

[0133] 本教导的LIDAR系统的一个特征是可以容易地添加附加的波长。通过使用附加的波长和更复杂的波长多路复用器,可以添加更多的测量点。图22图示了本教导的测量点云2200的实施例。该点云表示由四种不同波长提供的测量点。与每个波长相关联的点在3D测量点云中所示为不同的形状。

[0134] 本教导的一个特征是光学系统可以被配置为使得生成的3D点云沿着不同方向具有不同的角分辨率。包括VCSEL阵列中的元件的间隔、准直和投射元件中的组合器件的光学配置被布置成改变给定方向上的角分辨率,其使期望地方的密度最大化并且使不需要的地方的密度最小化。在一些实施例中,VCSEL器件以规则的均匀图案布局,其中密度在水平和垂直方向上基本恒定,但不一定要求在每个方向上相同。这样的配置可以有助于制造过程,因为期望具有相对均匀的布局以便于VCSEL器件和封装的组装和电连接。

[0135] 图23A图示了根据本教导的用于其中角分辨率在特定方向上改变的多波长LIDAR的实施例的VCSEL阵列布局2300。基板包括以规则图案布局的二十五个VCSEL激光器2302,其中间隔在每个方向上是恒定的,但在两个方向之间是不同的。在水平方向上,每个VCSEL器件2302在器件之间以 x 2304的均匀间隔偏移,并且在垂直方向上在器件之间具有 y 2306的均匀间隔。因此,VCSEL激光器阵列在 x 方向上具有均匀的间隔并且在 y 方向上具有均匀的间隔,但是两个间隔是不相同的。

[0136] 图23B图示了根据本教导的由具有不同角分辨率的多波长LIDAR的实施例生成的测量点云2350。可以由光学系统从图23A的均匀VCSEL结构创建非均匀3D点云。在图23B的实施例中,投射的测量点的间隔在水平方向和垂直方向上都不同并且不再是均匀的。在垂直方向上,底部两行器件的间隔是 u 2352,并且每行增加附加的间隔 u 2352,在顶部变为 $4u$ 2354。在水平方向上,存在以中心轴为中心的对称图案,对于两个相邻列具有间隔 p 2556,然后增加到间隔 $2p$ 2358。该实施例的一个特征是总的来说对于给定的视场具有较低数量的VCSEL。这样的配置具有相对低的成本,并且对于其中仅在期望FOV的一部分中需要高角准确度的应用是有用的。本领域技术人员将认识到的是,根据本教导,LIDAR系统可以生成许多其它图案。

[0137] 本教导的LIDAR系统的一些实施例具有模块化设计,其中VCSEL激光器被放置在单独的组件中,该组件被设计成与具有不同FOV的一个或多个不同光学设计一起使用。在这些实施例中,仅需要制造单个VCSEL激光器组件以满足多个汽车和/或应用的需要。我们可以理解的是,具有不同目标用途和成本的不同车辆将对LIDAR系统的数量、系统范围和FOV有广泛不同的要求。因此,本教导的LIDAR系统的一个方面是构建模块化LIDAR系统。在这些模块化系统中,与模块化VCSEL组件的通信和数据传输可以是数字的,并且所有模拟处理可以在模块化单元内进行。

[0138] 应该理解的是,根据结合图23A和图23B所述的本教导,在不同方向上改变角分辨

率与所使用的波长的数量无关。甚至单个波长的LIDAR系统也可以从改变不同方向的分辨率中受益。

[0139] 可以利用光学器件的各种组合来构造照明器的投射元件,以实现在目标平面处期望的光束轮廓和位置。在根据本教导的多波长LIDAR系统中,一个光学器件用作组合不同波长的波长多路复用器。波长多路复用器允许光束路径或光束方向作为波长的函数被修改。可以使用各种已知的波长多路复用器器件。例如,薄膜滤波器可以用于通过一个波长,同时反射其它波长。而且,可以使用衍射光学器件。如果所使用的激光是线性偏振的,那么也可以使用偏振敏感的光学器件。对于其中每个波长是线性偏振的(一个波长偏振正交于另一个波长)两个波长LIDAR系统,波长多路复用器可以是偏振分束器。对于具有附加波长的LIDAR系统,使用波片操纵偏振状态以及基于偏振反射或通过光可以使用偏振分束器创建合适的波长多路复用器。

[0140] 在一些特定实施例中,空间区域足以组合光束。在多模VCSEL的情况下,可以在没有公共多路复用器的自由空间中执行光束组合。用于组合光束的该自由空间区域被称为自由空间光学元件。图24A-C图示了这种自由空间组合器。图24A图示了本教导的多模多发射器VCSEL激光源照明器2400的实施例。示出了各自具有五个激光发射器2406的两个VCSEL阵列2402、2404。阵列2402、2404名义上放置在单个平面中,但这不是必需的。阵列可以相互偏移或成一定角度。单独的透镜系统2408、2410与每个VCSEL阵列2402、2404一起使用以设定投射角度。实践中,阵列2402、2404仅被分开约10mm。

[0141] 在操作中,来自两个阵列的光束在非常短的距离(<100mm)内变为完全交错,如图24B所示。图24B图示了图24A的多模多发射器VCSEL激光源的投射光束轮廓2430的横截面。来自阵列2402、2404的光束2432、2434是完全交错的。通过适当地定位透镜2408、2410,可以调整来自每个阵列的投射角度以产生均匀的间隔。图24C图示了图24A的多模多发射器VCSEL激光源的投射角度。所示的光束投射角2450仅包括最大2452、中值2454和最小2456光束投射角。来自每个阵列的对应激光器被间隔开10mm,并且激光束被示出投射到1米的距离。

[0142] 因此,可以在投射元件内使用自由空间区域,以在LIDAR系统的视场和范围中的目标平面处产生期望的激光束轮廓。熟悉本领域的技术人员将清楚的是,使用自由空间投射的不同波长的多发射器激光束可以以这样的方式对准以产生相邻点的3D测量点云(例如,如图15B所示),或者,测量点可以根据需要进行部分或全部重叠。

[0143] 本教导的LIDAR系统的另一个特征是在VCSEL器件附近结合温度监视器。激光对温度敏感。通过作为温度的函数控制激光器的偏置,可以提高激光器件的可靠性。众所周知,例如,某个固定值的光功率所需的偏置在低温下将较低。根据本教导的一些LIDAR系统在发送器中结合温度监视器,以提供改进的激光偏置算法、激光使用期可靠性改进和整体系统性能监视器的反馈。

[0144] 图25图示了根据本教导的包括位于VCSEL器件附近用于测量温度的器件的VCSEL阵列2500的实施例。两个温度传感器2502、2504位于单个公共基板2506上。在本教导的LIDAR系统的各种实施例中,可以使用一个或多个温度传感器。如果跨基板2506的温度梯度小,或者被很好地预测,那么一个温度传感器可能是足够的。例如,温度传感器可以是热敏电阻。热敏电阻在本领域中众所周知具有取决于温度的电阻。通过使信号通过热敏电阻,并

测量电流/电压,可以计算出热敏电阻的操作电阻以及因此热敏电阻的温度。

[0145] 期望根据本教导的一些LIDAR系统在制造期间结合并校准用于各种性能测量的温度监视器。通过校准,我们指的是特征化激光偏置、温度和器件的输出功率,以及随后作为温度的函数微调激光偏置和输出功率,以满足具有合适边际的所需性能规范。通常,该过程在制造期间执行。在校准过程期间获得的性能参数(诸如激光偏置和光功率)也可以作为温度的函数被存储在系统存储器中作为参考。

[0146] 在LIDAR系统的操作期间,可以监视实际温度并将其与存储在存储器中的值一起用作查找表以设置激光偏置。替代地,结合光功率监视器,可以将操作期间的输出功率、激光偏置和温度的实际值与参考值进行比较,以识别系统中的任何显著变化或降级,这可以指示潜在的可靠性问题。在各种实现中,检测这些变化的LIDAR系统然后可以与用于需要潜在的服务或修理的自动车辆的整个监视系统通信。

[0147] (一个或多个)温度传感器2502、2504还可以用于检测VCSEL激光器器件2508何时超出其预期的操作范围。由于汽车潜在地在极端天气条件下在室外操作,因此对于系统的可靠性和安全性而言,带有一定准确度地知道VCSEL激光器器件2508的温度可能是重要的。能够检测温度何时在操作之外的系统然后可以采取一些动作,诸如在环境条件满足操作标准之前阻止操作。

[0148] 图26图示了根据本教导的包括用于控制VCSEL阵列2600温度的有源热控制器件2602、2604的VCSEL阵列2600的实施例。有源热控制器件2602、2604用于调整VCSEL温度并使其处于可接受的操作范围内。有时期望并入有源热控制,因为它可以用于提供LIDAR系统的更宽范围的工作温度。局部有源热控制器件2602、2604共同位于VCSEL阵列2600的(一个或多个)基板2606上,并以这种方式被构造成获得期望的热效率。热控制器件2602、2604可以是加热电阻器元件。但是,仅使用加热电阻器元件的系统将能够加热但不能冷却VCSEL。替代地,热电冷却器(TEC)可以用作既可以加热也可以冷却的有源热控制器件。

[0149] VCSEL基板2606包括若干热敏电阻2608、2610以及可以是加热电阻器的热控制器件2602、2604。热敏电阻2608、2610通过基板与激光热耦合,并且相对靠近激光器以监视温度。系统将根据需要通过加热电阻器传递电流,以使由热敏电阻测得的温度达到期望的温度范围。

[0150] 图27图示了根据本教导的包括用于加热和冷却VCSEL 2704的热电冷却器(TEC) 2702的温度控制的VCSEL阵列2700的横截面。除了具有靠近VCSEL 2704的热敏电阻2706之外,热敏电阻2708也可以被放置在TEC 2702的基部以便测量基部温度。

[0151] 本教导的LIDAR系统的另一个特征是使用高度集成的激光驱动器和VCSEL组件,其中激光驱动器和VCSEL激光器被放置在同一基板上,并针对期望的RF性能进行了优化。图28A-C图示了本教导的用于多波长LIDAR的紧凑型VCSEL激光驱动器组件的实施例。图28A图示了本教导的紧凑型VCSEL激光驱动器组件的实施例的俯视图2800。图28B图示了图28A的紧凑型VCSEL激光器驱动器组件的实施例的侧视图2830。图28C图示了图28A的紧凑型VCSEL激光器驱动器组件的实施例的仰视图2850。

[0152] 参考图28A-28C,VCSEL 2802的阵列被放置在基板2804的一侧上。驱动器芯片2806被放置在相对侧。多层基板2804可以用于将来自驱动器2806的激光驱动器信号路由到VCSEL 2802阵列中的激光器。多层基板2804可以是印刷电路板、陶瓷基板或柔性的多层电

路。本领域技术人员将认识到的是,也可以使用其它基板材料。

[0153] 图29图示了根据本教导的用于多波长LIDAR系统的紧凑型VCSEL激光驱动器组件2900的另一个实施例。激光驱动器2902位于同一基板2904上并与VCSEL阵列2906位于同一侧。具有九个四激光驱动器IC的组件2900被定位在基板上,用于VCSEL阵列2906中的三十六个VCSEL激光器。

[0154] 图30图示了用于本教导的多波长LIDAR的紧凑型VCSEL激光驱动器组件3000的实施例的系统框图。在该实施例中,脉冲发生链3002在VCSEL组件3004的同一载波上本地生成。脉冲发生链3002包括脉冲控制器3006、存储器3008、脉冲图案生成器3010和激光驱动器3012。激光驱动器3012如图所示连接到VCSEL激光器3014。在一些实施例中,激光驱动器连接到用于驱动多个VCSEL激光器的公共触点。在一些实施例中,脉冲形状可以存储在本地存储器中或者由控制器和图案生成器的组合生成。

[0155] 系统处理器3016经由数字输入/输出连接3018连接。系统处理器3016生成控制激光器的一组指令,指示激光器发射以及发射多长时间。这些指令将确定图案类型。但是,激光器的图案生成和偏置是在VCSEL组件上本地完成的。在VCSEL组件上本地生成激光驱动器脉冲图案极大地简化了整个LIDAR系统所需的接口。在一些实施例中,脉冲控制器3006、存储器3008、脉冲图案生成器3010和激光驱动器3012的功能都包含在单个IC封装内。在各种实施例中,VCSEL器件可以是气密封装的或非气密封装的。

[0156] 图31图示了用于本教导的多元件多波长LIDAR系统的多波长光功率监视器的实施例。这种多元件多波长LIDAR系统利用与结合图14描述的多波长LIDAR系统中相同的照明器投射元件,但具有使得能够进行光功率监视的附加元件。部分反射镜3102在光学系统中的某个点处反射光束3104的一部分,其中来自多个激光器3106的光束将被反射。在一些实施例中,部分反射镜3102的放置是位于光学系统中的单个点处。在其它实施例中,使用多个反射元件在系统中的多于一个点处对反射光进行采样。多个反射元件可以是部分反射镜。多个反射元件也可以投射光束。

[0157] 反射光被引导到一组监视器光电探测器3108、3110,每个监视器光电探测器仅对一个波长的光敏感。监视器光电探测器3108、3110可以简单地是定位在各个宽带光电二极管前面的陷波滤波器。本教导的多波长LIDAR的一个方面是能够同时和独立地操作不同波长的激光。这允许独立地监视两个波长的光功率,这提高了系统能力。

[0158] 光学系统内通常存在光束大部分重叠的地点。在图31的被监视的LIDAR照明器中,重叠发生在光学器件3112之后。安装在透明窗口3114上的反射元件和部分反射镜3102可以被定位在该重叠位置。窗口3114形成方便的安装表面,并且可以由基本上通过光的任何机械结构代替。反射元件和部分反射镜3102反射光的一部分,其通常小于总光功率的5%。反射元件和部分反射镜3102可以安装在窗口3114的任一侧。此外,该反射元件和部分反射镜3102被示出为在两个方向上反射不同波长的光。单独的检测器3108、3110用于检测和监视来自所使用的每个波长的光。也可以是以下这种情况,即,反射元件和部分反射镜3102在一个方向上反射来自两个波长的光,而光仍然使用单独的光电二极管和适当的波长滤波单独地进行采样。

[0159] 在照明器内检测到的反射光也可以用于提供激光电流偏置的附加控制。激光二极管具有一系列操作偏置电流。包括LIDAR系统的激光系统通常以闭环方式操作,其中接收到

的来自监视二极管的光电二极管电流用作偏置控制环路的输入。通过监视和维持主要作为入射功率的线性函数的监视光电二极管电流的恒定值，LIDAR系统将能够对系统稳定性的变化（诸如温度或机械移位）做出反应，并维持改进的输出功率稳定性。而且，这种激光偏置的监视和控制可以在其使用期内适应激光器的一些降级，而不会在系统级别损失光功率。

[0160] 多波长功率监视还提高了用于检测故障是由激光降级引起的还是由光学性能的变化引起的系统鲁棒性。如果一组波长发生故障，那么多波长功率监视提供冗余。如果对每个波长的光学监视是独立的，那么一组波长的操作中的部分或完全故障仍将允许使用另一组波长来部分操作系统的能力。

[0161] 本教导的另一方面是执行光学监视的LIDAR系统。在一些实施例中，监视在每个检测器3108、3110处接收到的光的参数，诸如激光波长、光功率、脉冲定时和脉冲频率。在这些实施例中，接收器不仅仅是如图31所绘出的光电二极管检测器，而且还包括允许检测波长以及光功率的光学器件。在使用多个波长的LIDAR设计中，特别是如果波长接近绝对值，那么可能期望监视它们的绝对值或相对值，以便确保系统参数符合预期。监视激光器的绝对波长或不同波长的激光器之间的相对偏移的各种方法在本领域中是已知的。这些方法中的一些使用基于标准量具的监视器件。

[0162] 本教导的多波长LIDAR系统的另一个特征是被定位在阵列中的激光器的波长差异可以用于改善准直。在实践中，VCSEL器件的晶片通常被制造成使得标称波长跨整个晶片是共同的，并且如由单个VCSEL簇覆盖的晶片的一小部分内的波长的分布非常小，可能小于1纳米。在一些情况下，取决于VCSEL设计方法和所采用的制造方法，标称VCSEL波长可能无法跨晶片移位。但是，有一些VCSEL制造方法允许不同波长针对不同的孔径。在这样的VCSEL中，我们可以使用波长移位以及波长敏感光学器件来提供比用非波长敏感光学器件实现的准直更好的准直。

[0163] 图32图示了根据本教导的包括发射不同波长的激光孔径的VCSEL簇布局3200的实施例。VCSEL簇布局3200包含十三个VCSEL孔径3202。为了简单起见，选择该VCSEL簇布局3200以更好地解释该方法，而在实际实践中，可以使用更密集、更均匀填充的VCSEL簇。在该实施例中，簇内的各个VCSEL孔径3202的波长基于径向位置移位。并且，由VCSEL孔径3202沿着特定半径发射的波长对于所有角度都是恒定的。在图32中，每个VCSEL孔径3202被标有数字，该数字指示它距中心VCSEL孔径的位置。

[0164] 图33图示了包括图32的VCSEL簇布局的照明器的实施例。根据本教导，VCSEL簇3302被定位成与波长敏感光学器件3304一起。VCSEL簇3302具有径向变化的波长，如结合图32所述。在这种情况下，取决于光束3306的波长，波长敏感光学器件3304用于使光束3306偏转一定量。由光学器件3304投射的光束3306的路径是一组平行的路径。因此，如果簇中的所有孔径都是相同的波长，那么光学器件3304的偏转导致可以被实现的较小直径的准直光束。在一些实施例中，波长敏感光学器件是被制造成使得输入光束的偏转的幅度取决于其波长的衍射光学器件。

[0165] 在一些实施例中，VCSEL结构被配置为并且VCSEL被制造成使得簇内的特定波长是期望的波长。在一些实施例中，使用被配置为跨结构具有温度梯度的VCSEL簇来作为径向位置的函数改变VCSEL簇内的波长。典型的VCSEL激光器对具有波长温度系数为 $0.1\text{nm}/^{\circ}\text{C}$ 的温度敏感。具有径向变化的热梯度的结构的VCSEL簇也将导致VCSEL波长跨簇的移位，即使这

些器件在恒定温度下都发射相同的波长。

[0166] 等效物

[0167] 虽然结合各种实施例描述了申请人的教导,但并不意味着申请人的教导限于这些实施例。相反,申请人的教导包括如本领域技术人员将认识到的、可以在不脱离本教导的精神和范围的情况下在其中进行的各种替代、修改和等效物。

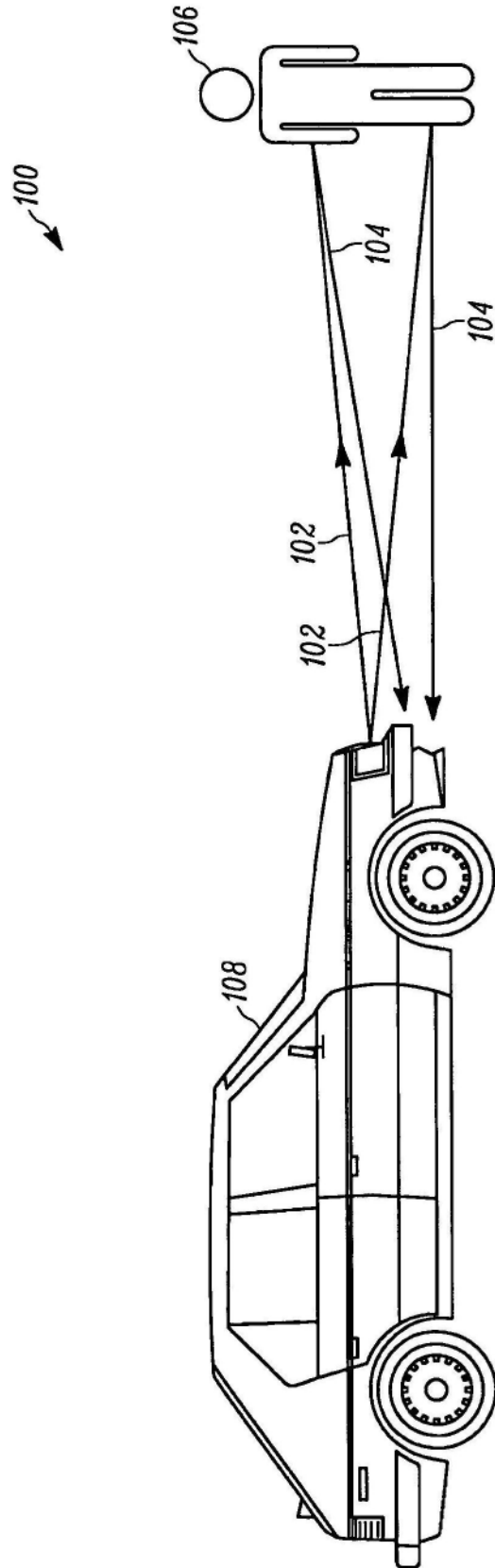


图1

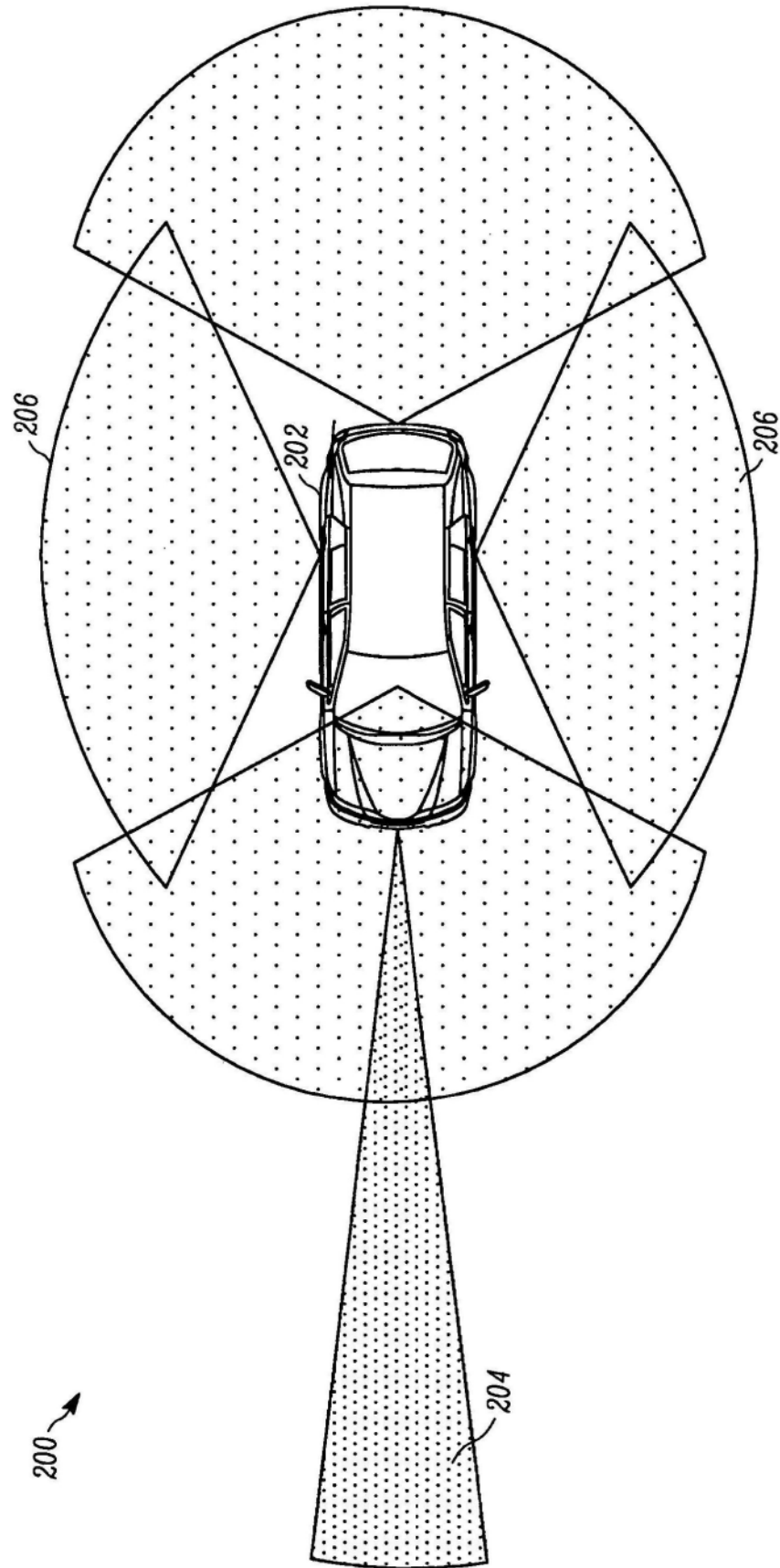


图2

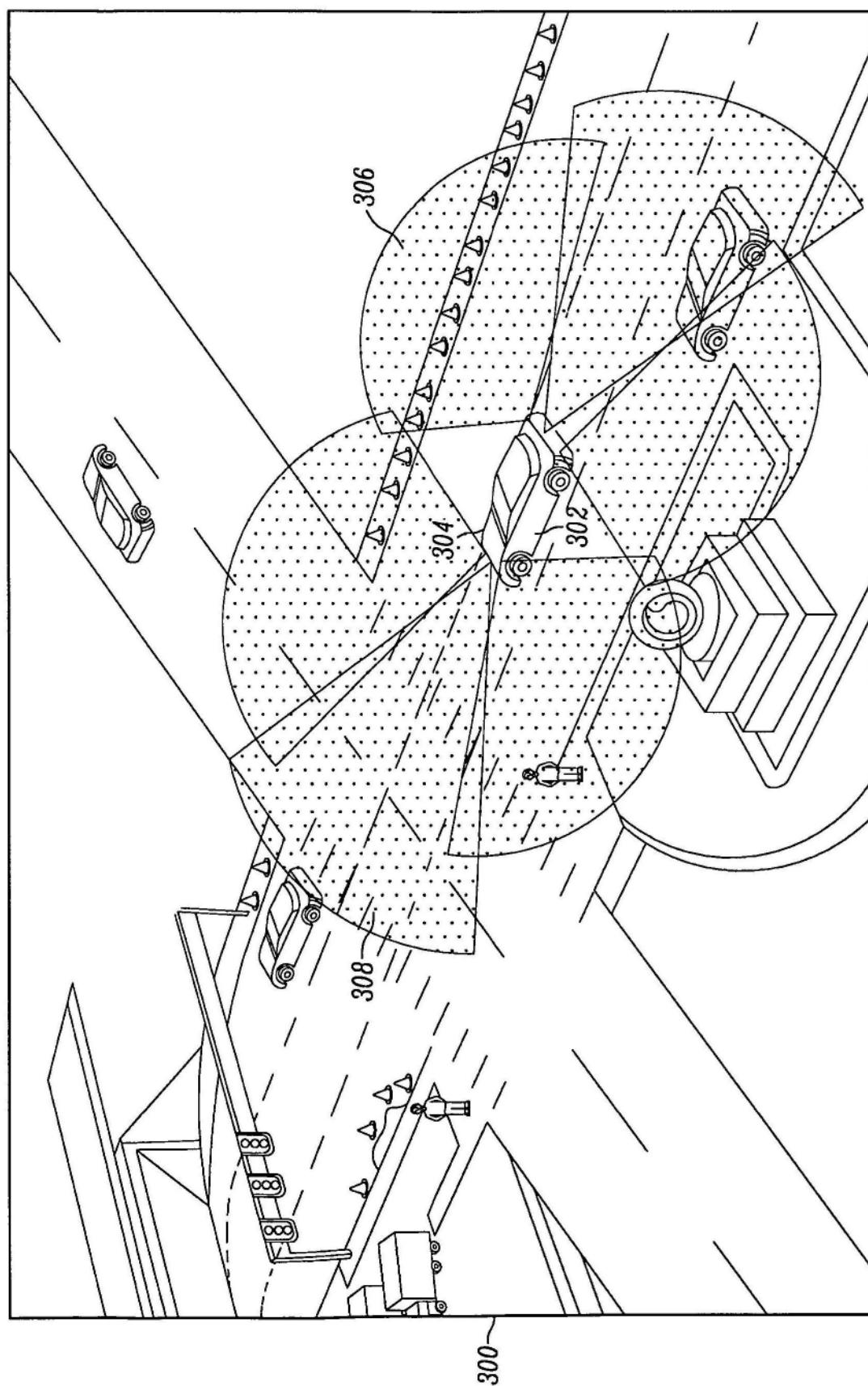


图3

400 ↘

	水平角分辨率
距离	0.175 米的步长
40 m	0.25 度
70 m	0.143 度
100 m	0.1 度

图4

500 ↗

	16 个激光器	32 个激光器
垂直的 FOV	+15 至 -15 (30 度)	+10.67 至 -30.67 (40 度)
垂直的角分辨率	1.875 度	1.25 度
单脉冲重复率	2.44 微秒	1.44 微秒
全垂直序列速率 (每规格)	55.296 微秒	46.1 微秒
等效采样率	289,351 Hz (~ 300 kHz)	694,143 Hz (~ 700 kHz)
标称旋转速率	600 rpm (10 Hz)	600 rpm (10 Hz)
标称水平角分辨率	0.199 度	0.166 度

现有技术

图5

600 ↘

参数	规范
距离范围	最大 100 m
FOV (V/H)	22.5 度/最小 22.5 度
角分辨率 (V/H)	0.7 度/0.18 度
波长范围	808 nm 至 1064 nm
肉眼安全	类别 1

图6

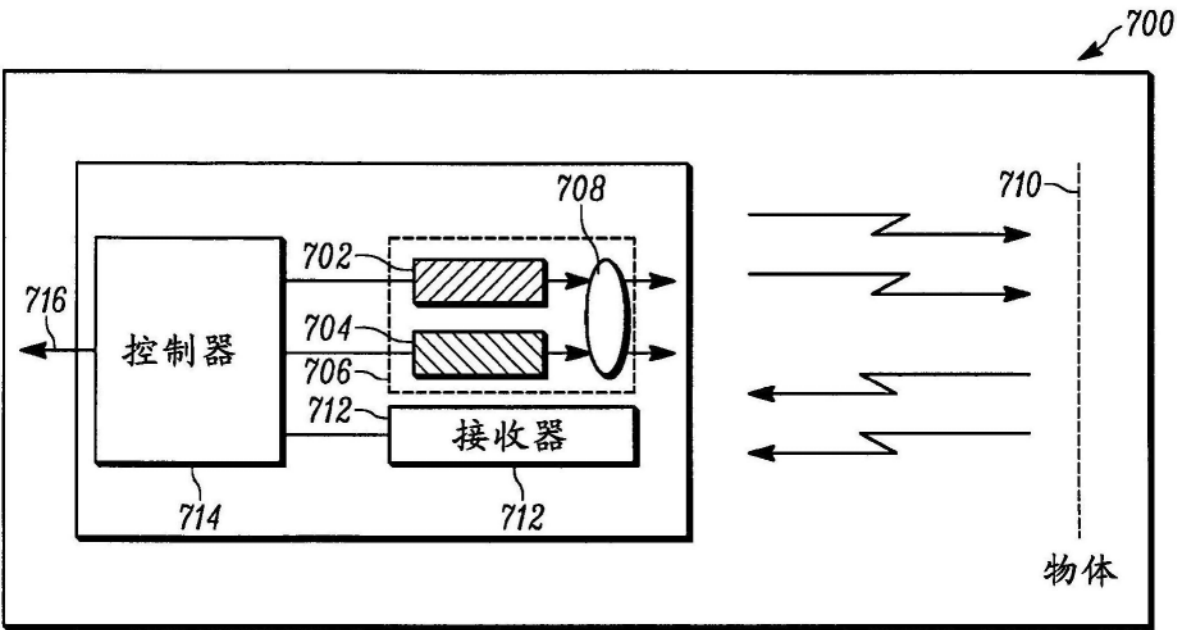


图7

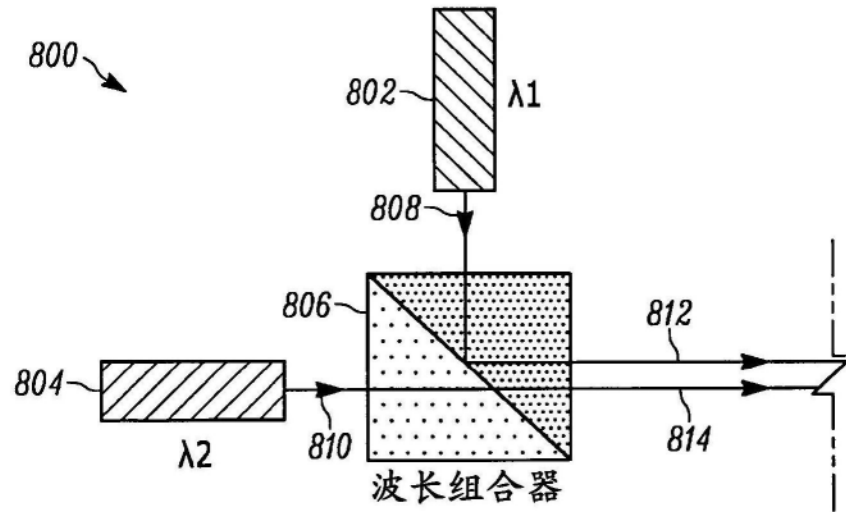


图8

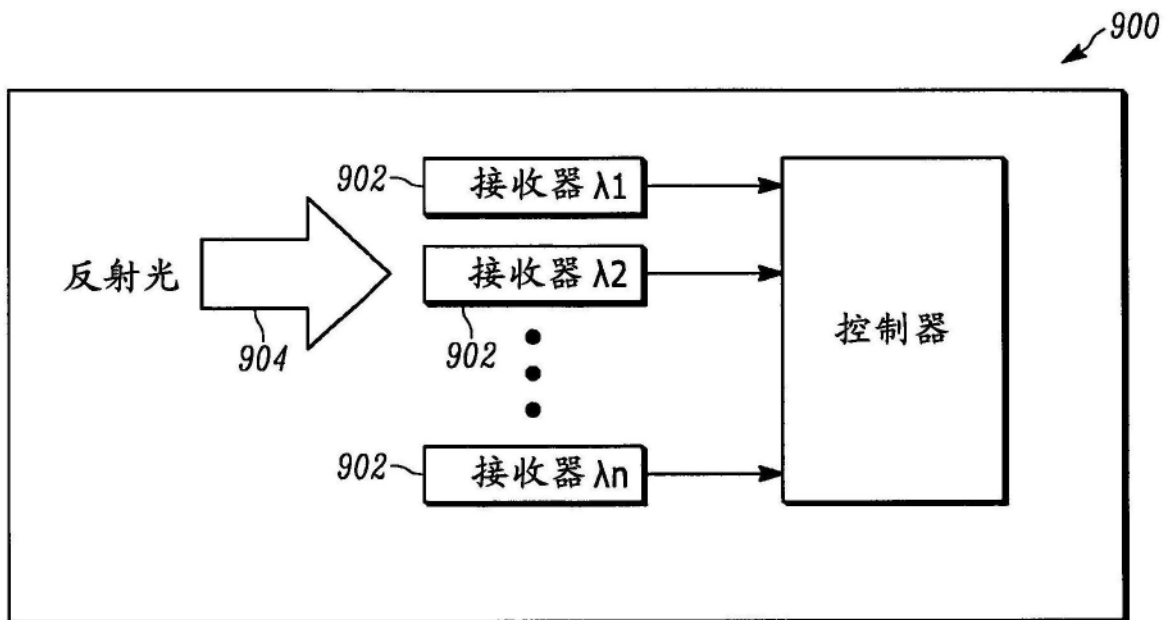


图9

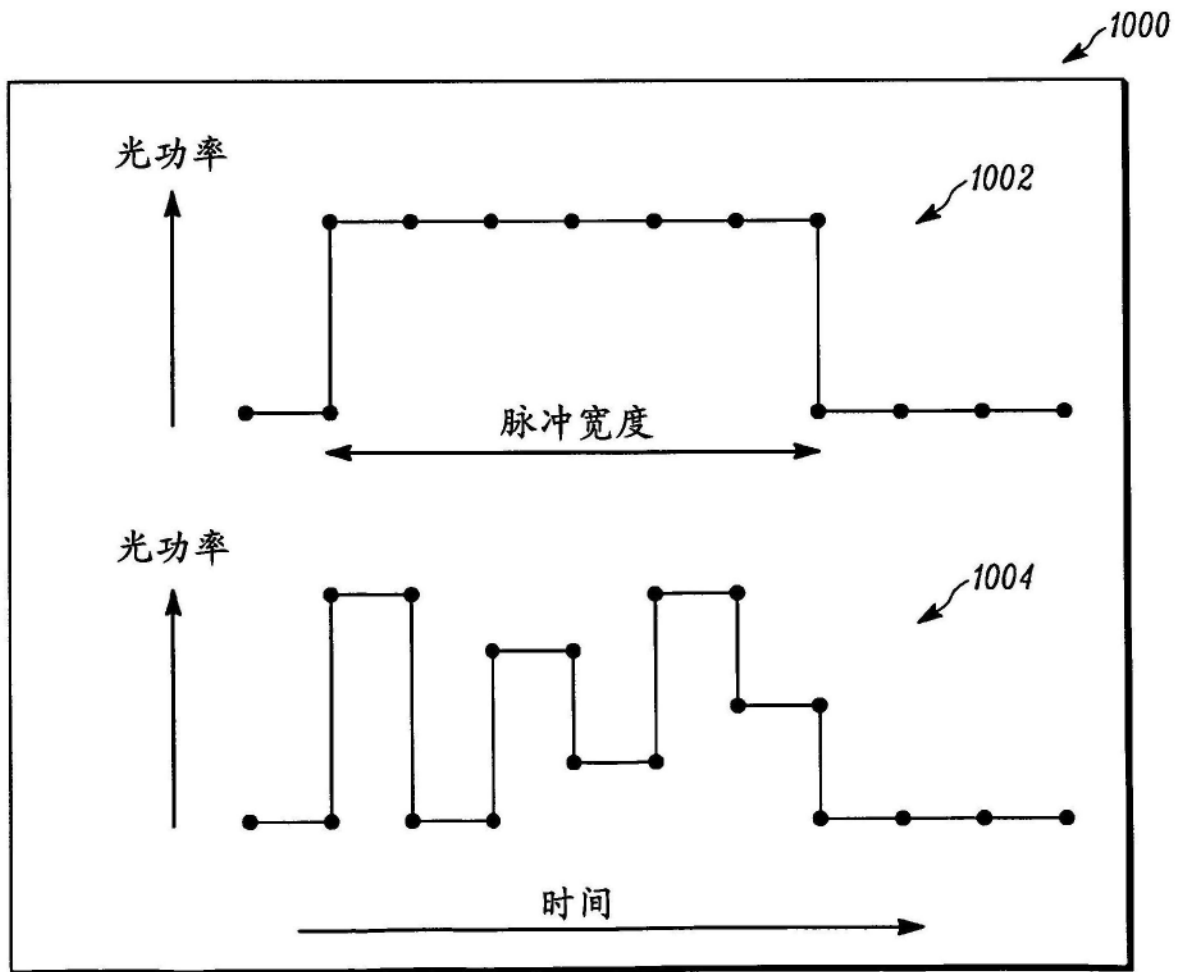
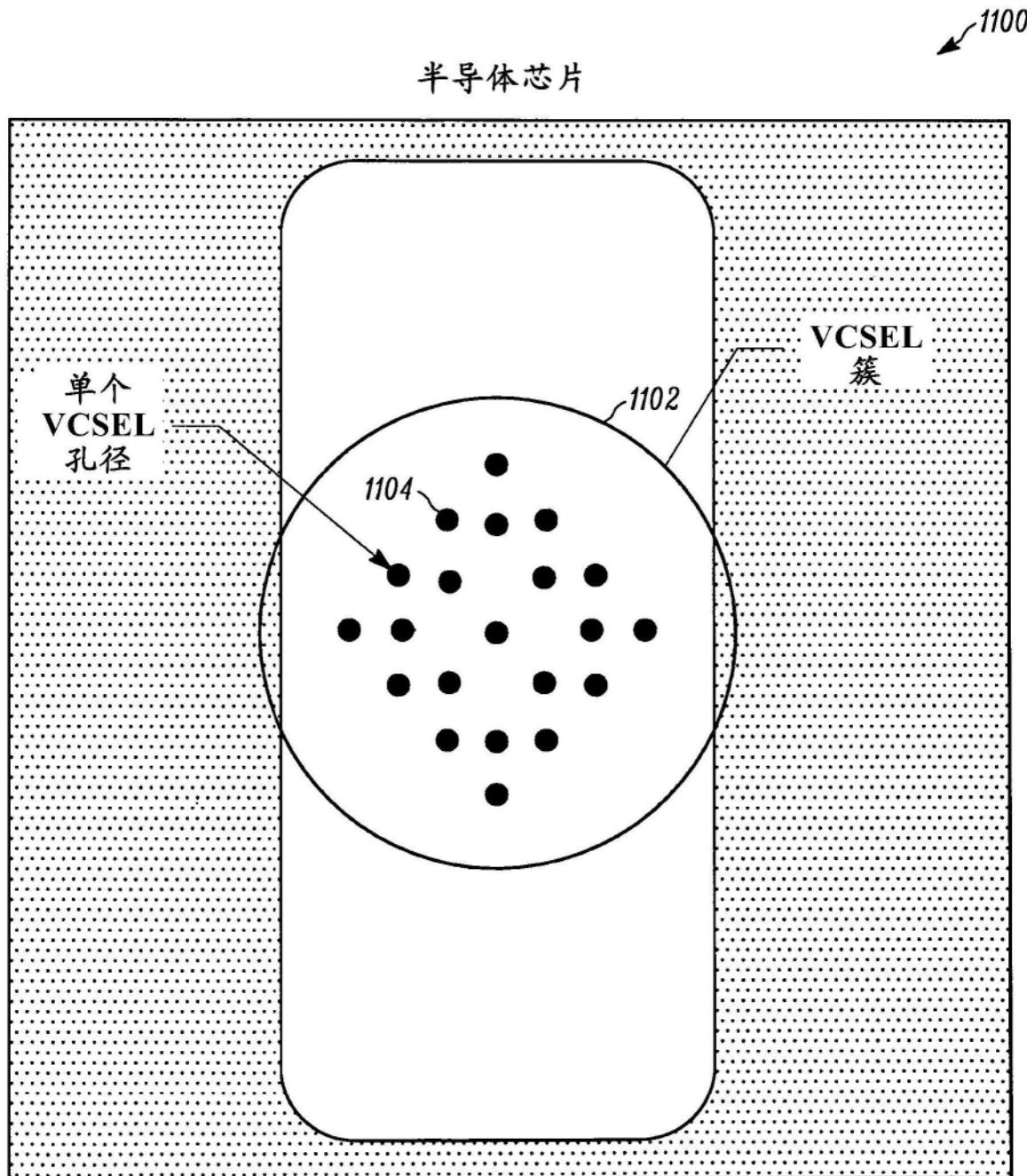


图10



现有技术

图11

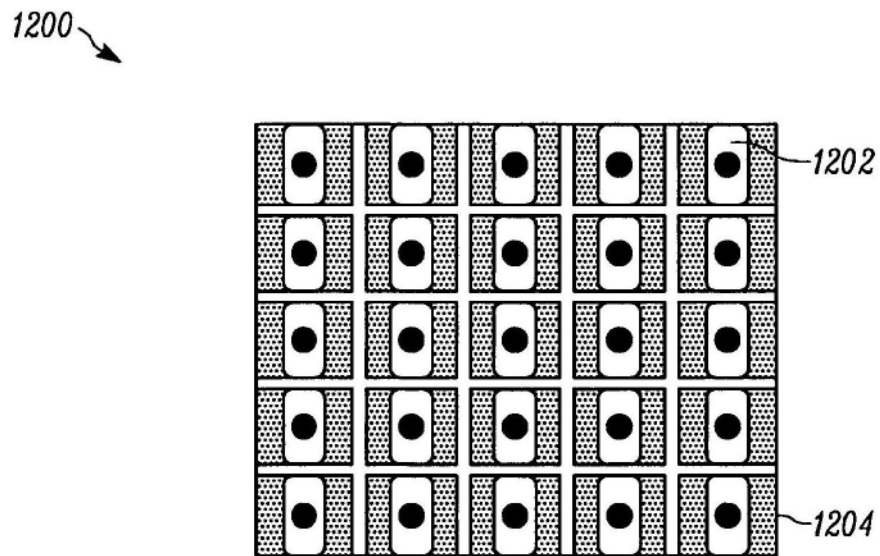


图12A

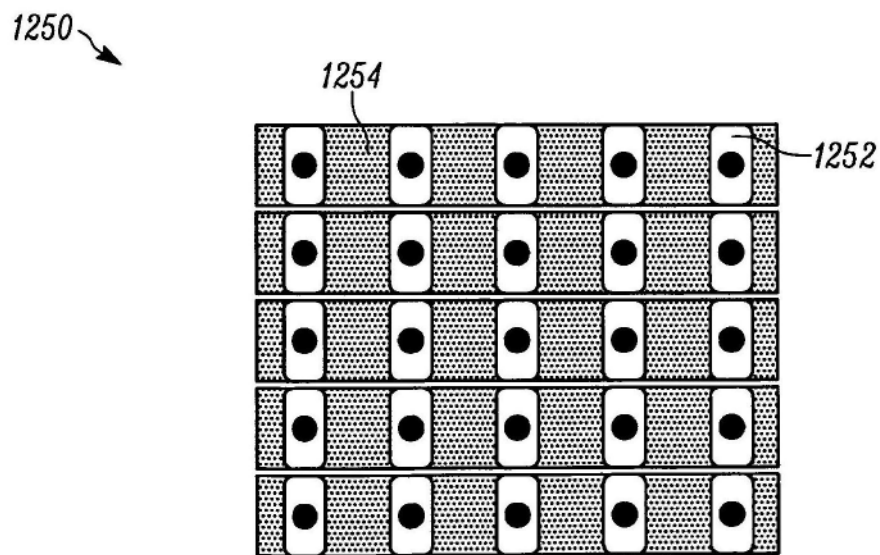


图12B

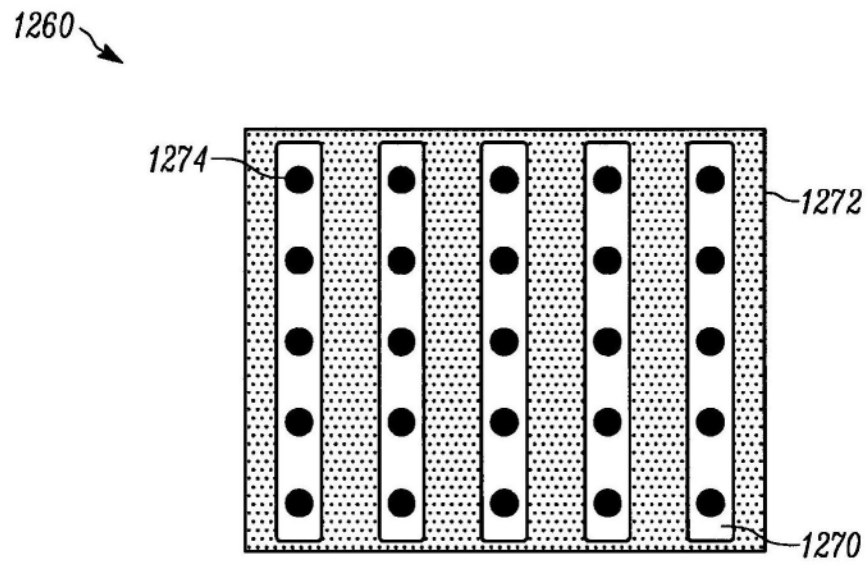


图12C

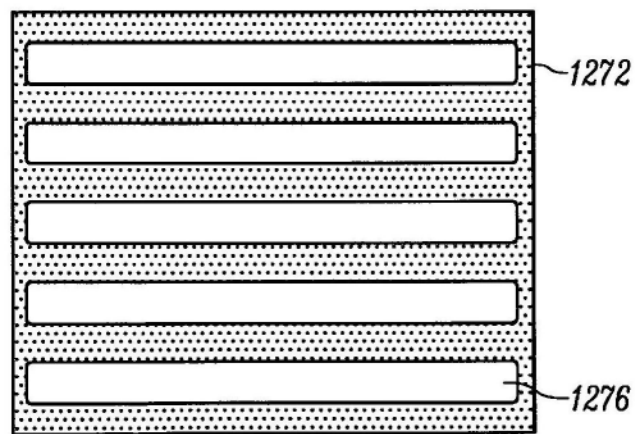


图12D

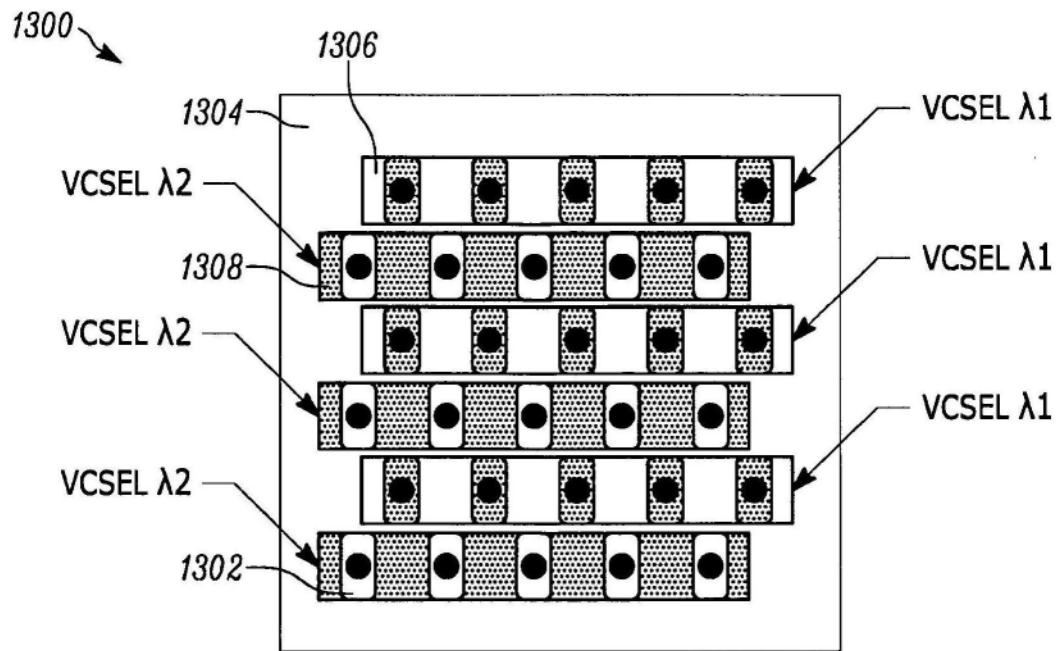


图13

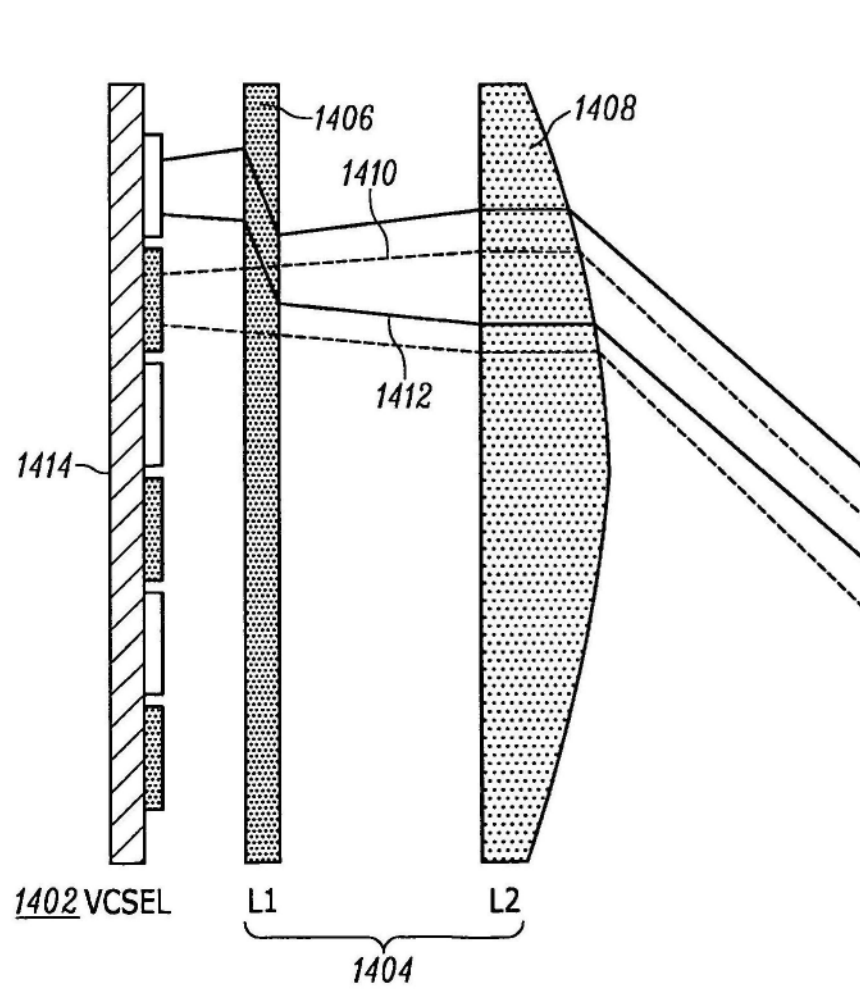


图14

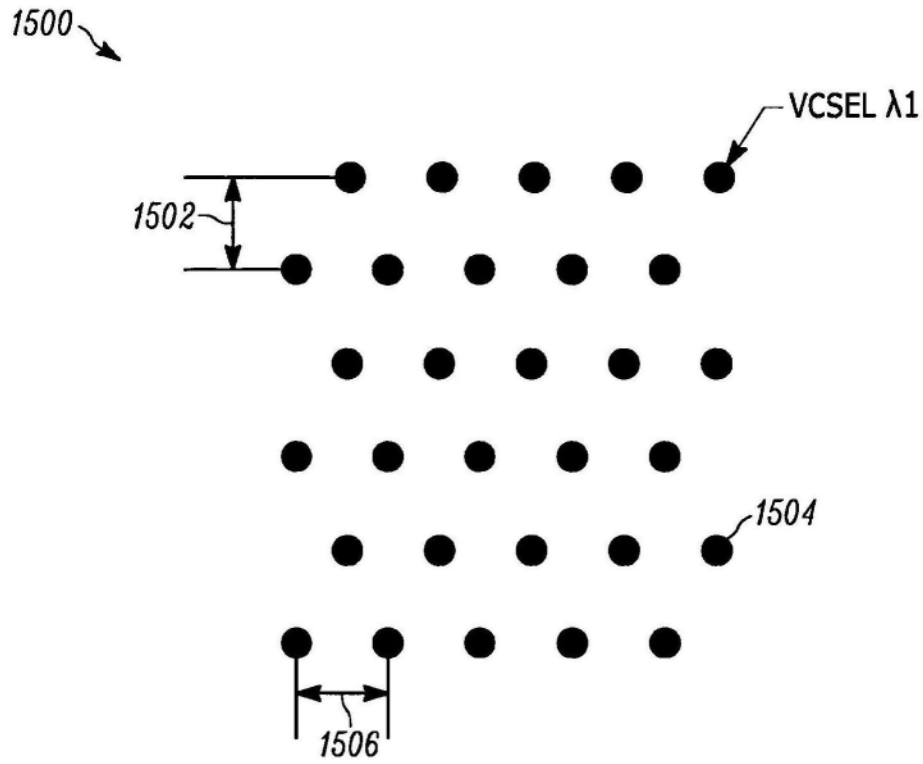


图15A

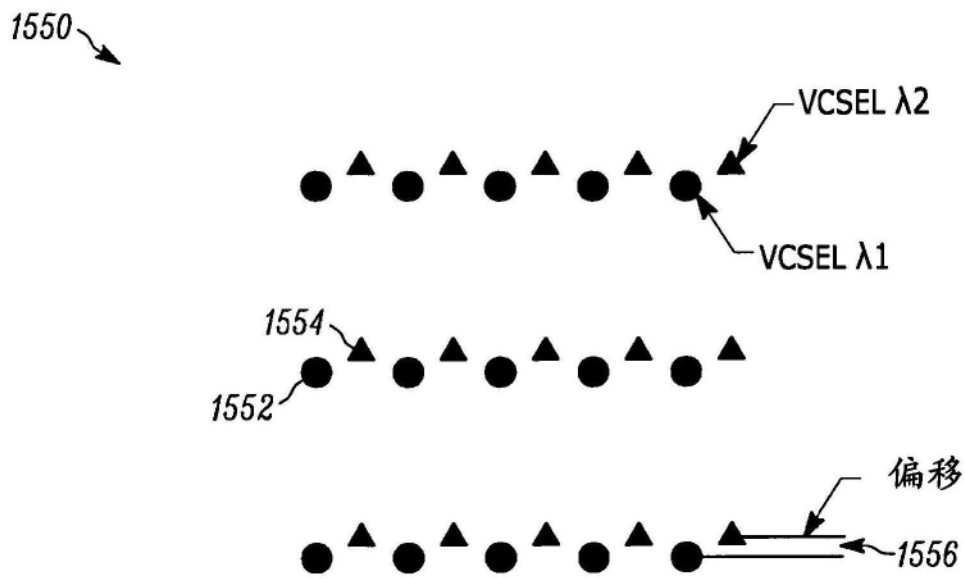


图15B

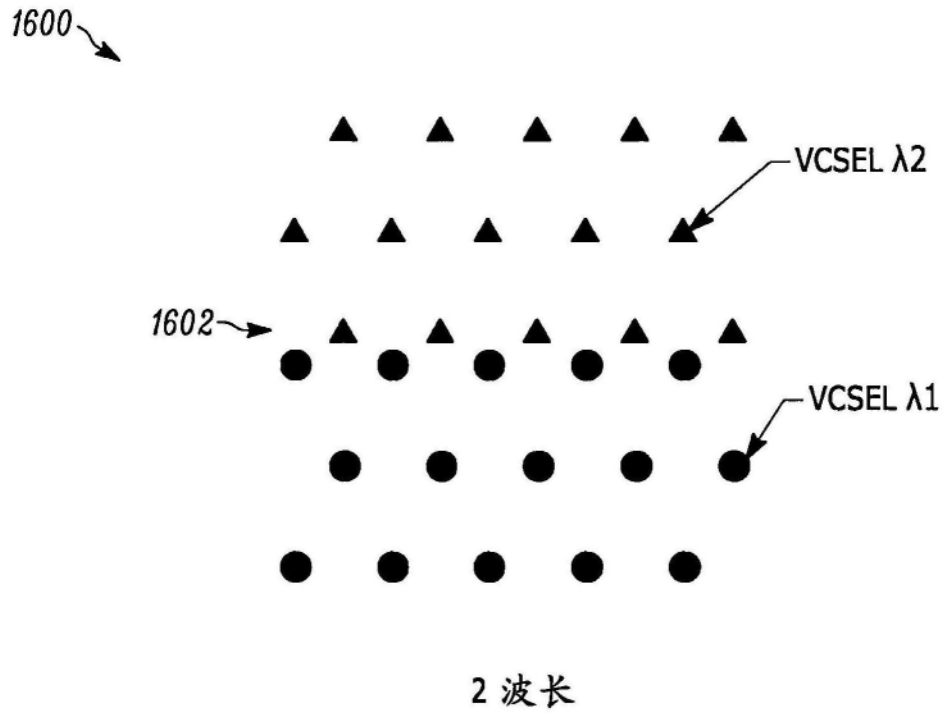


图16

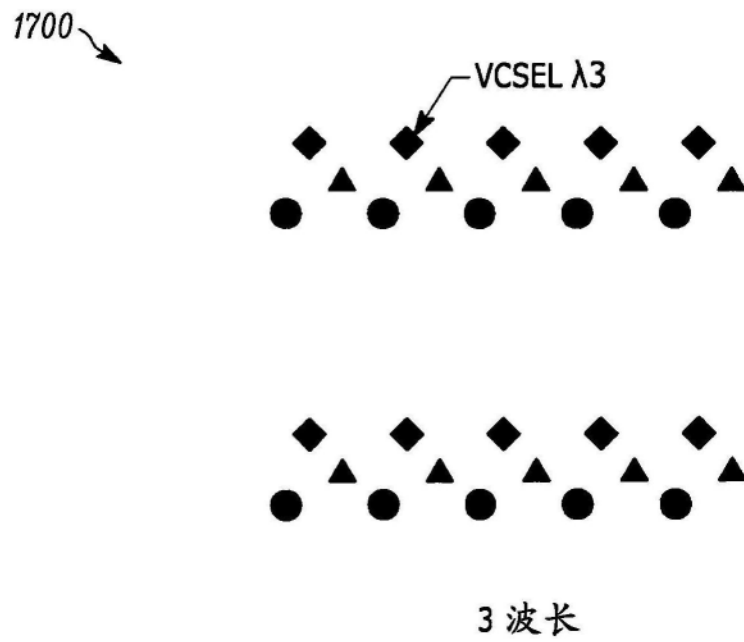


图17

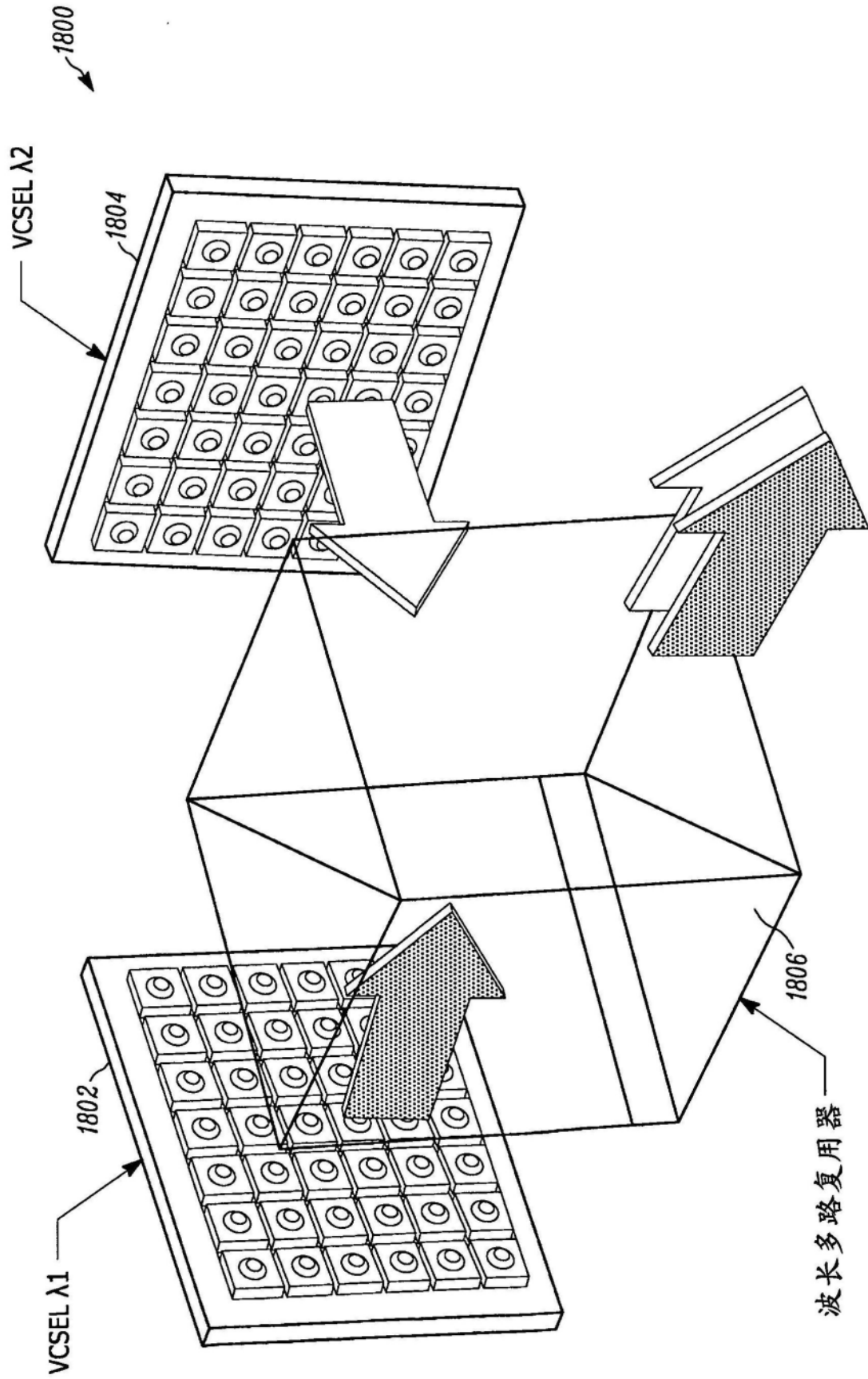


图18

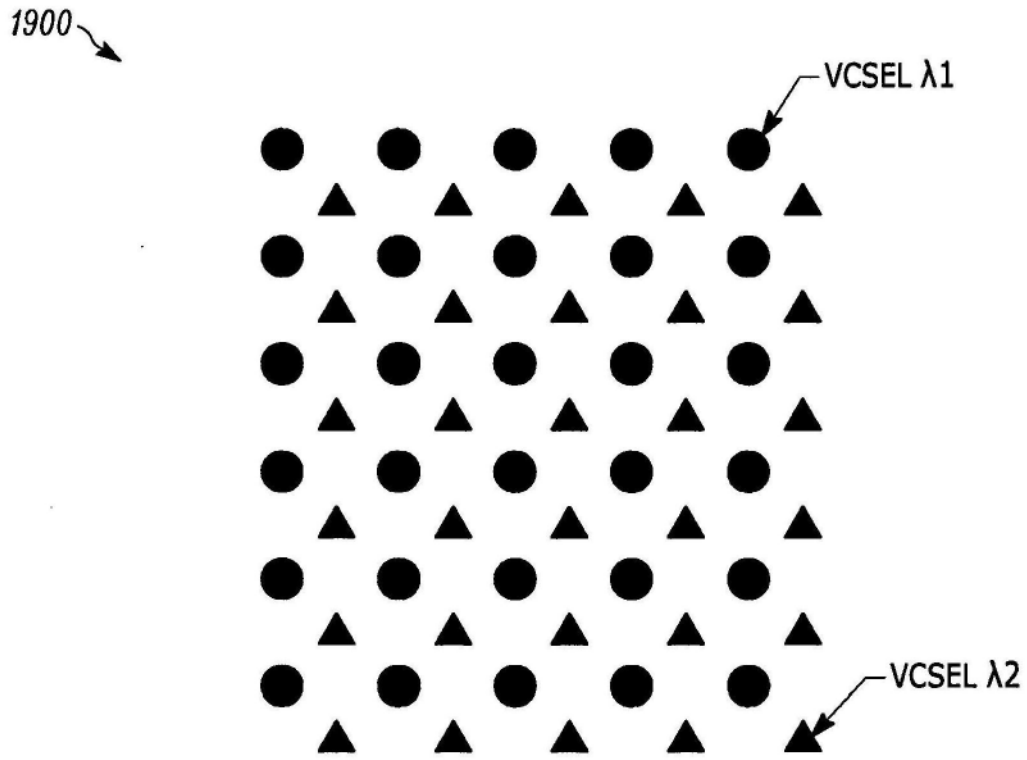


图19

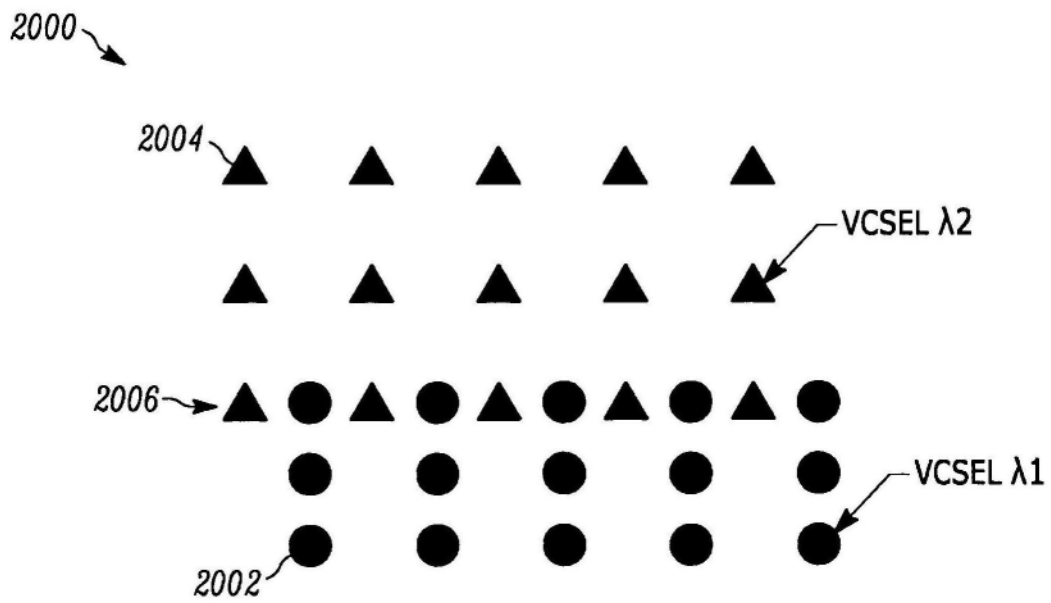


图20

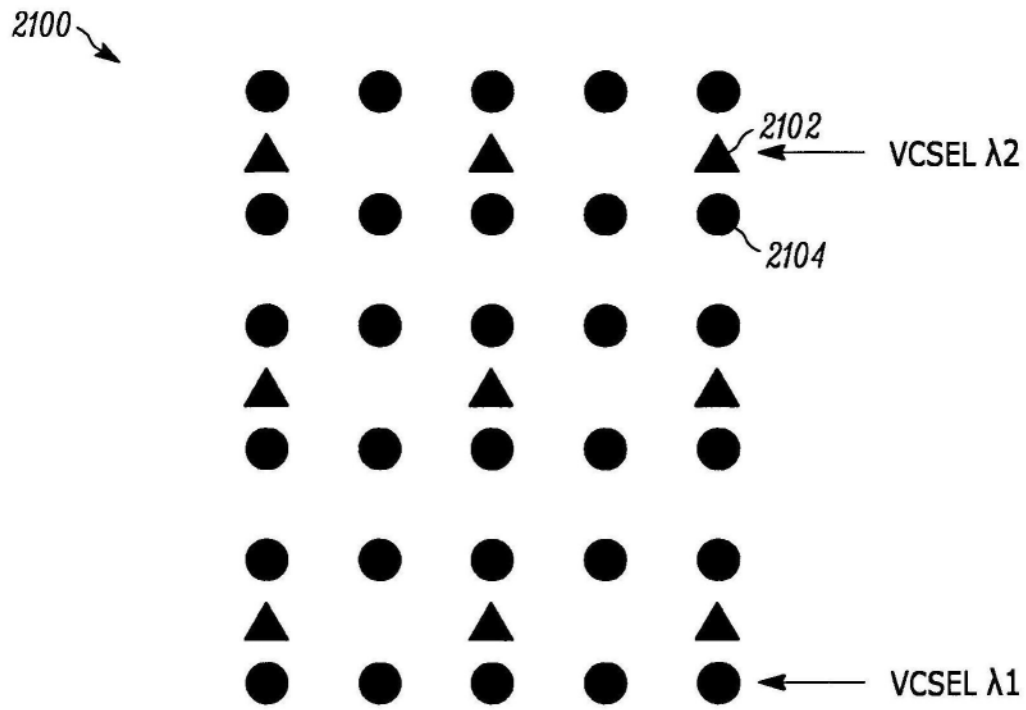


图21

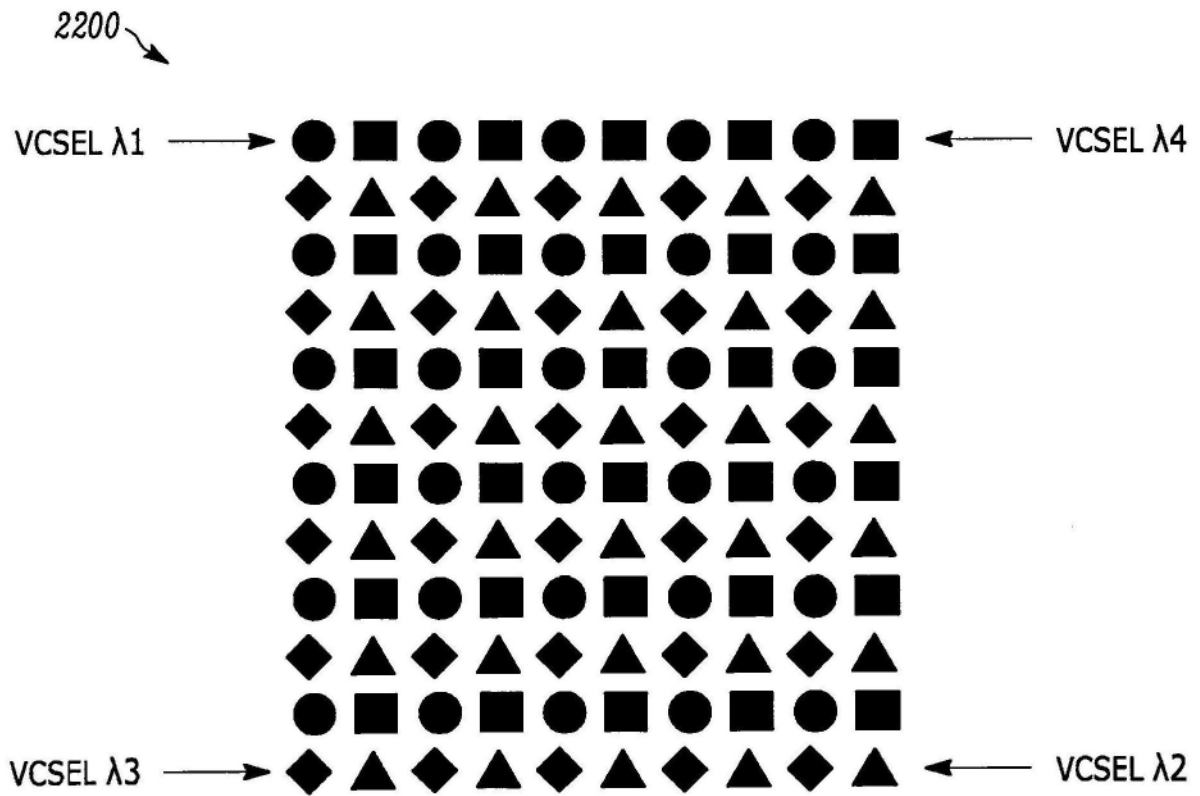


图22

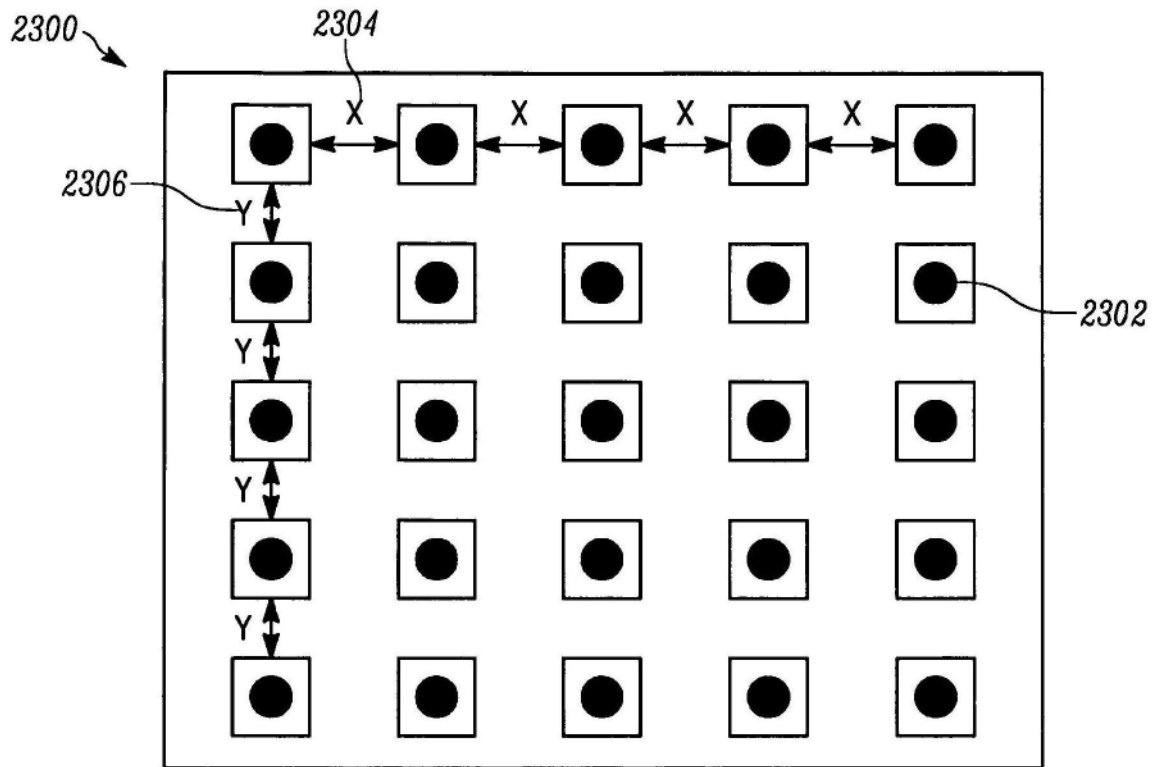


图23A

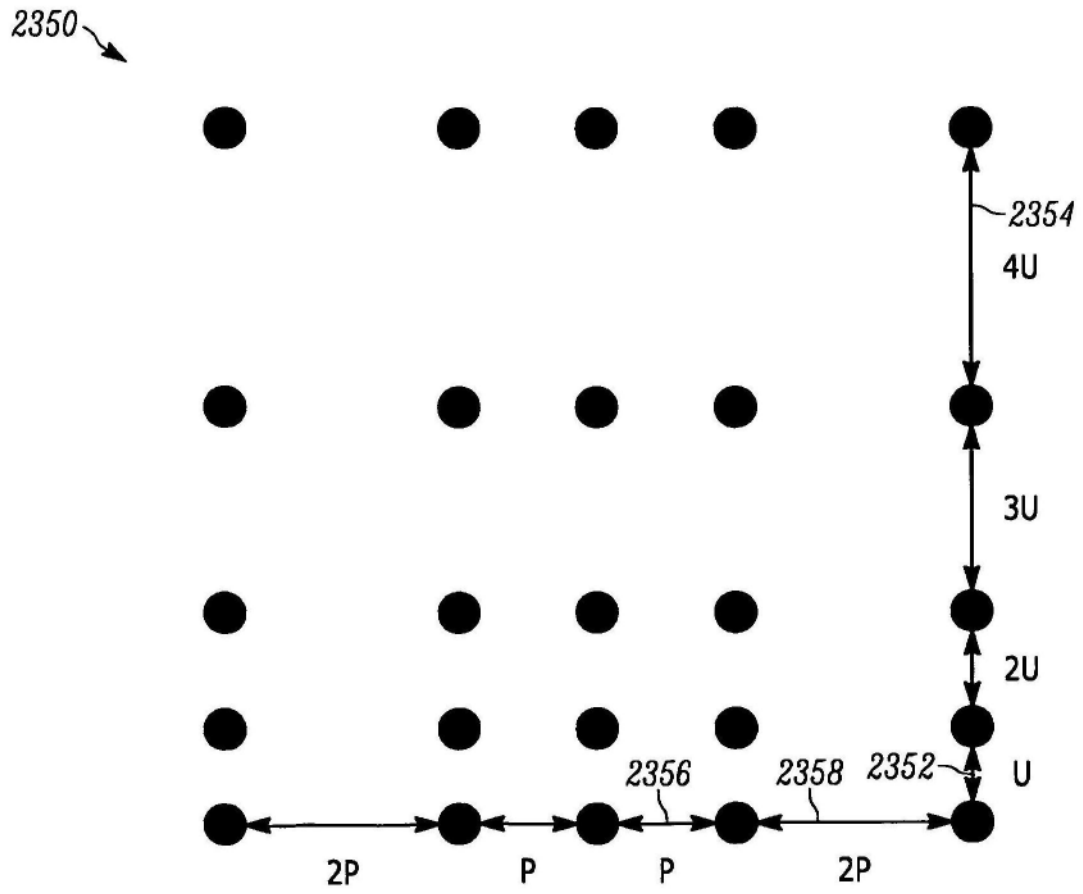


图23B

2400

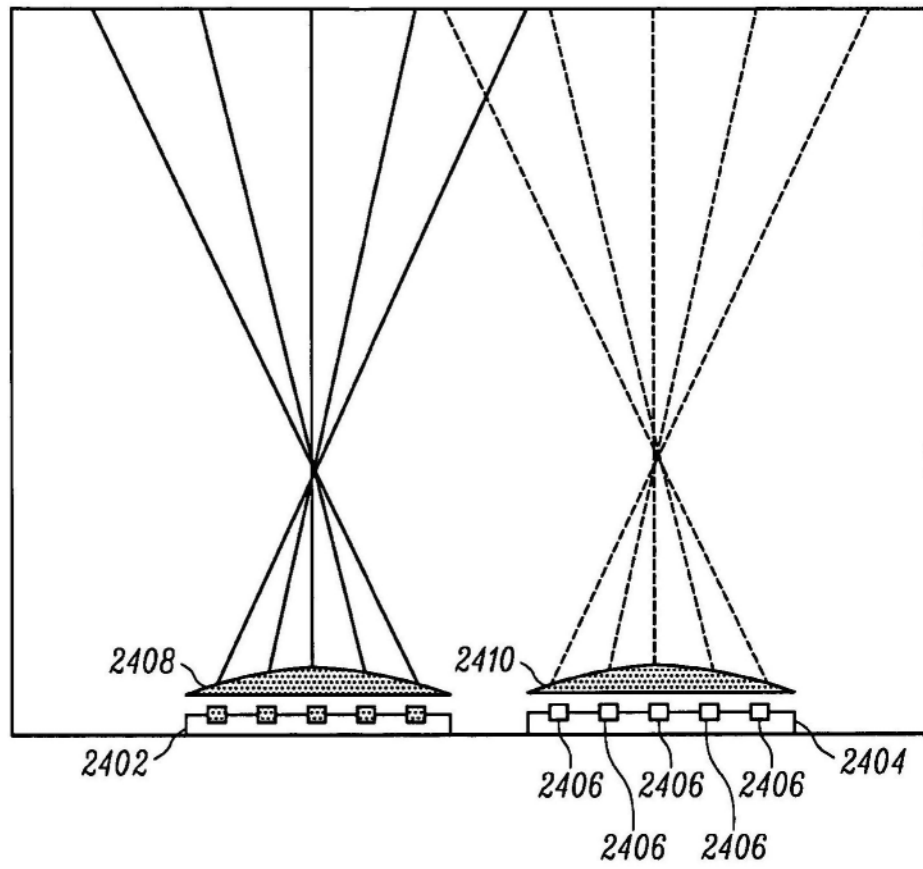


图24A

2430

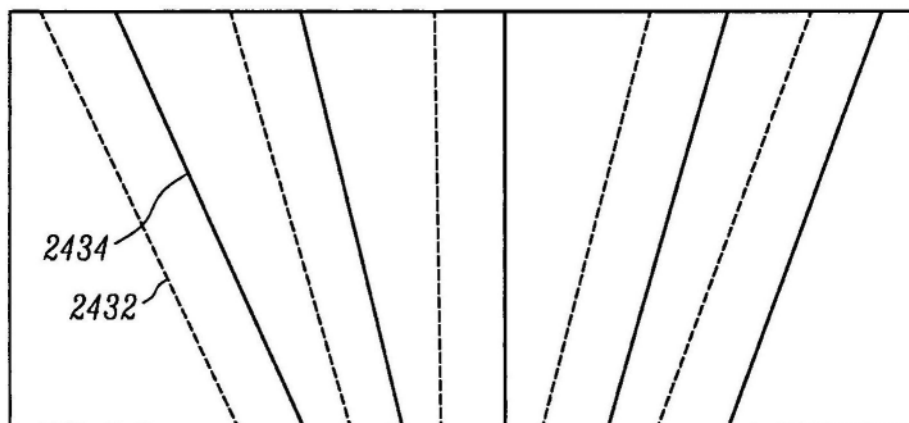


图24B

2450

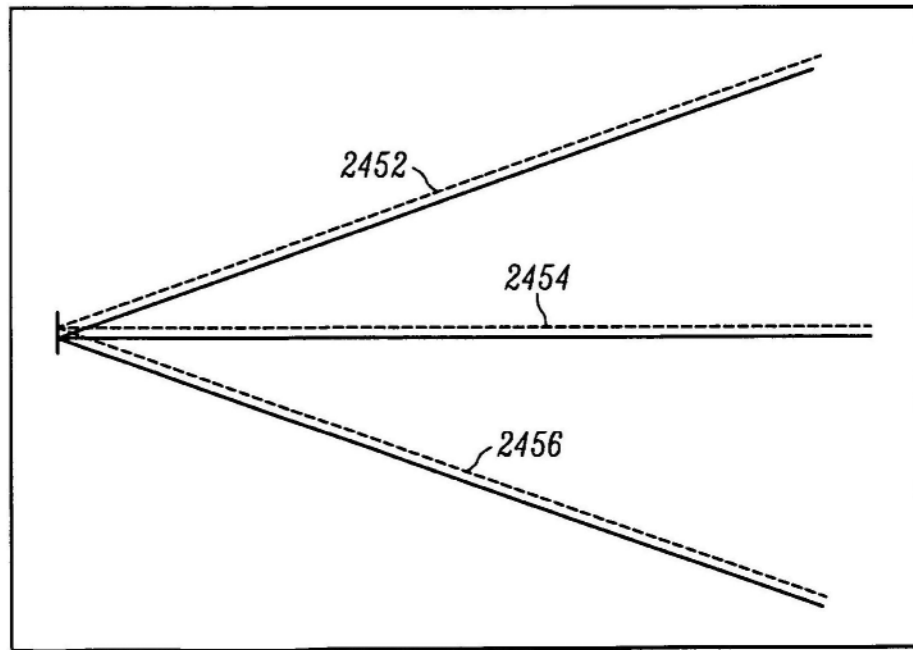


图24C

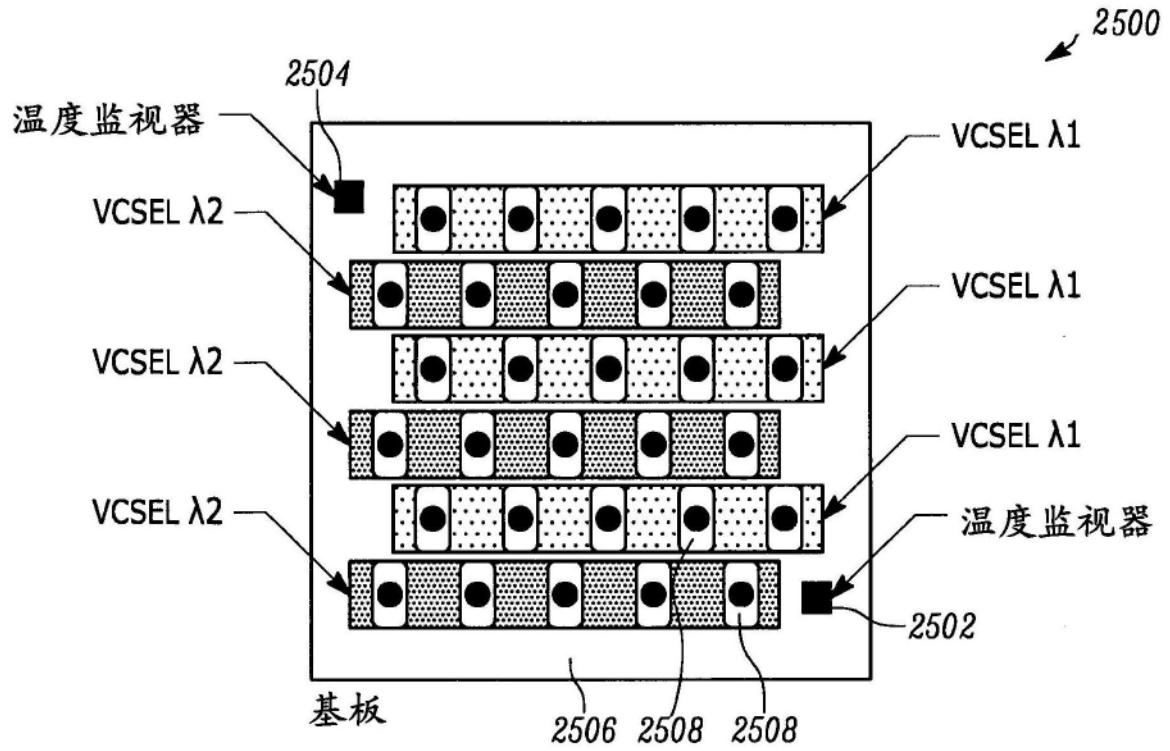


图25

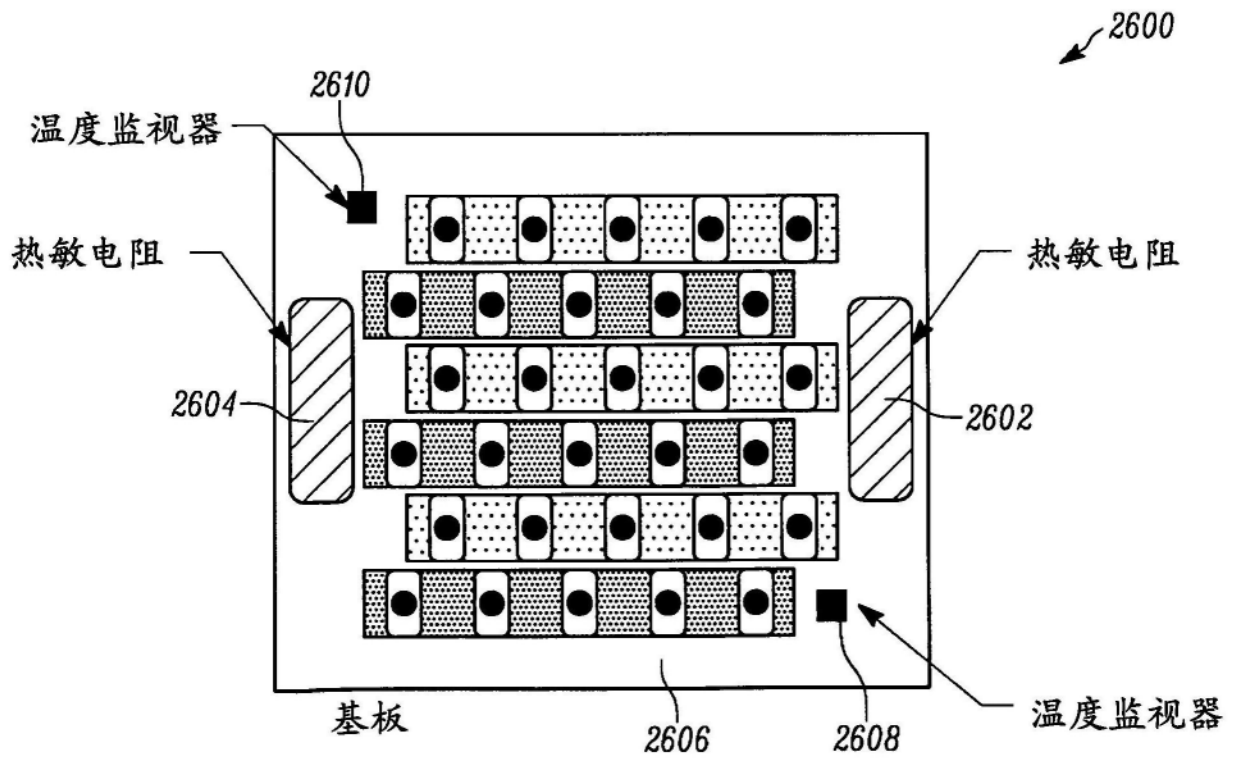


图26

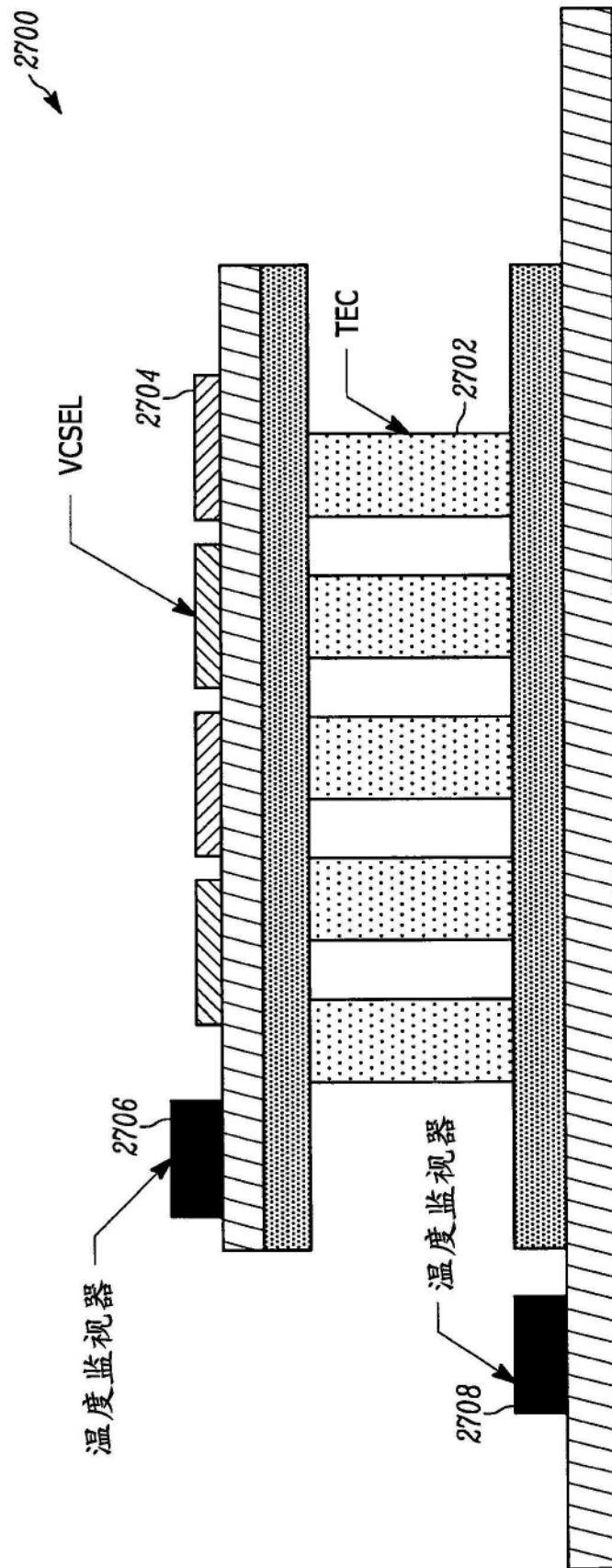


图27

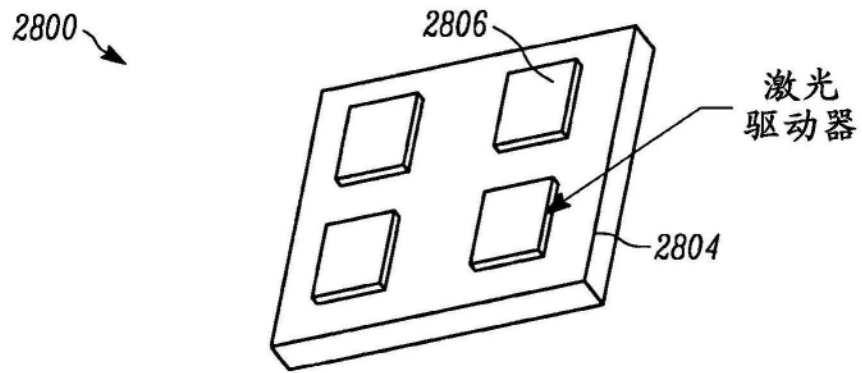


图28A

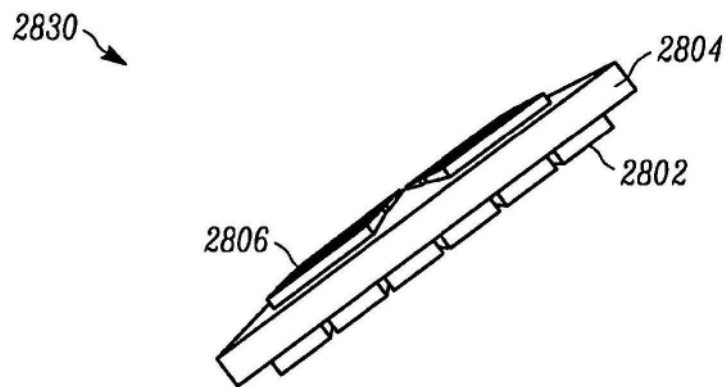


图28B

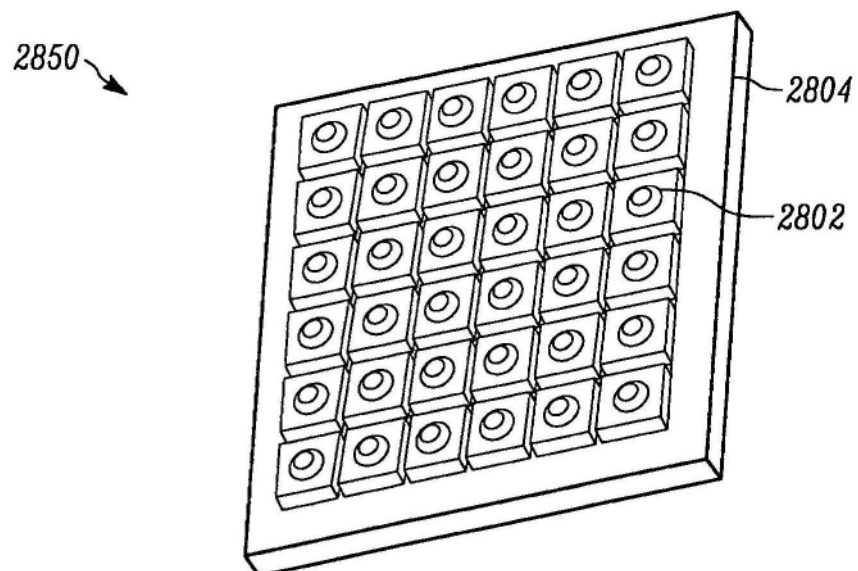


图28C

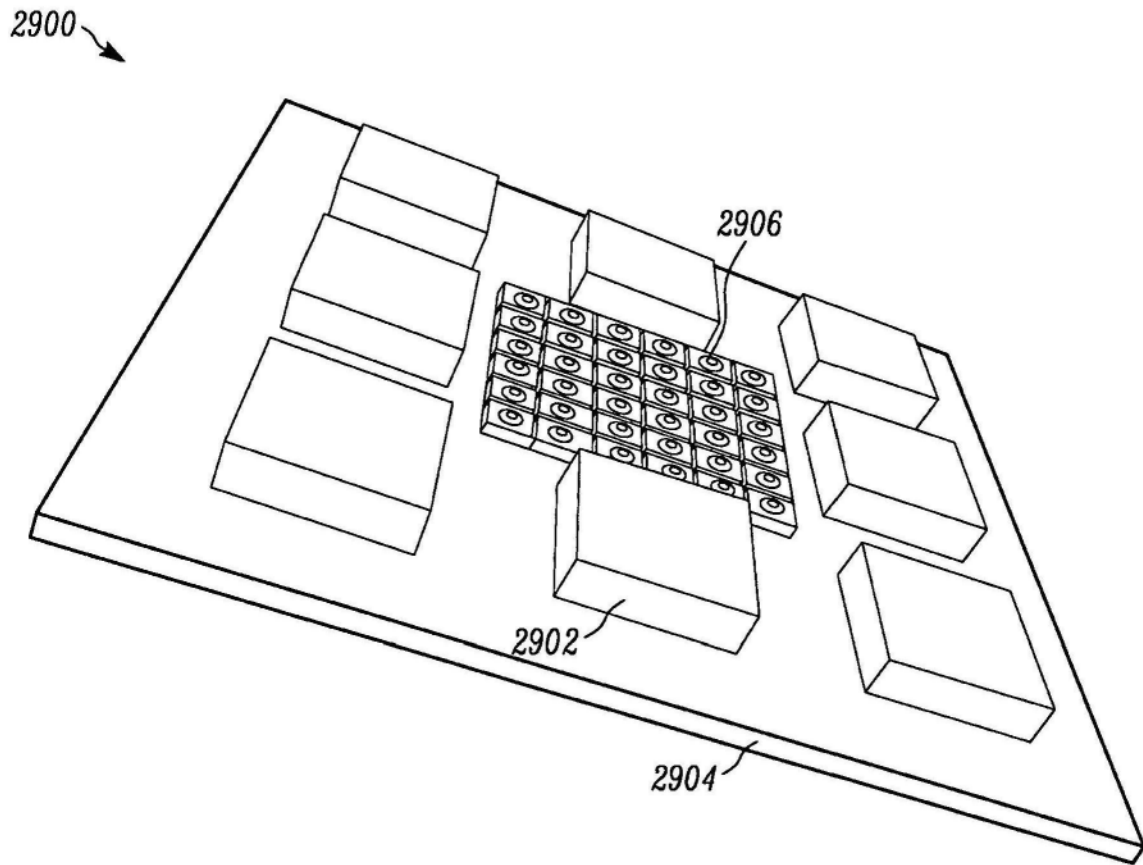


图29

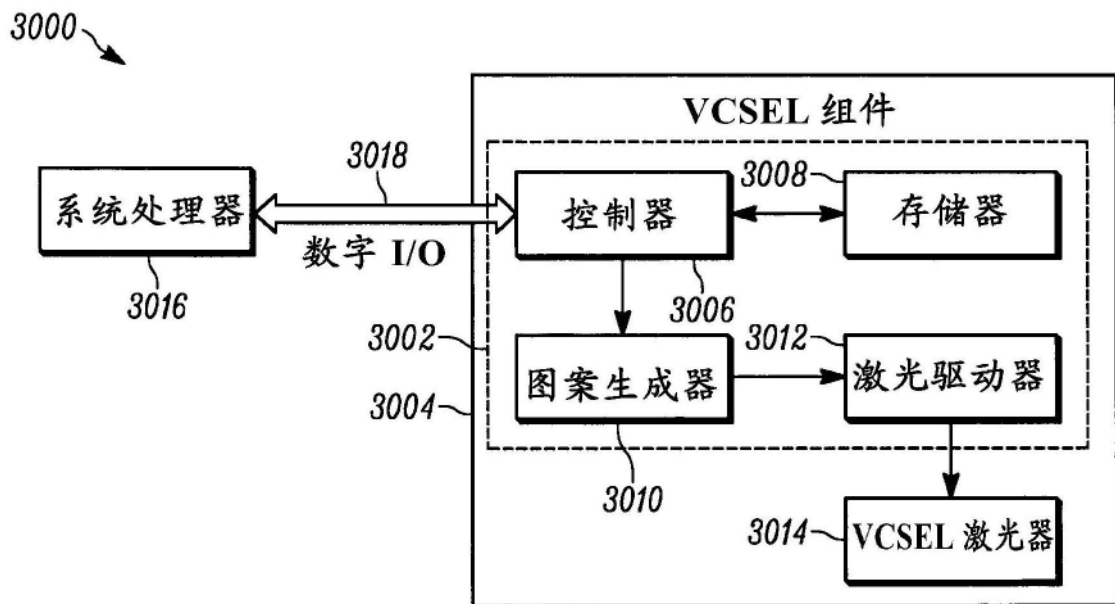


图30

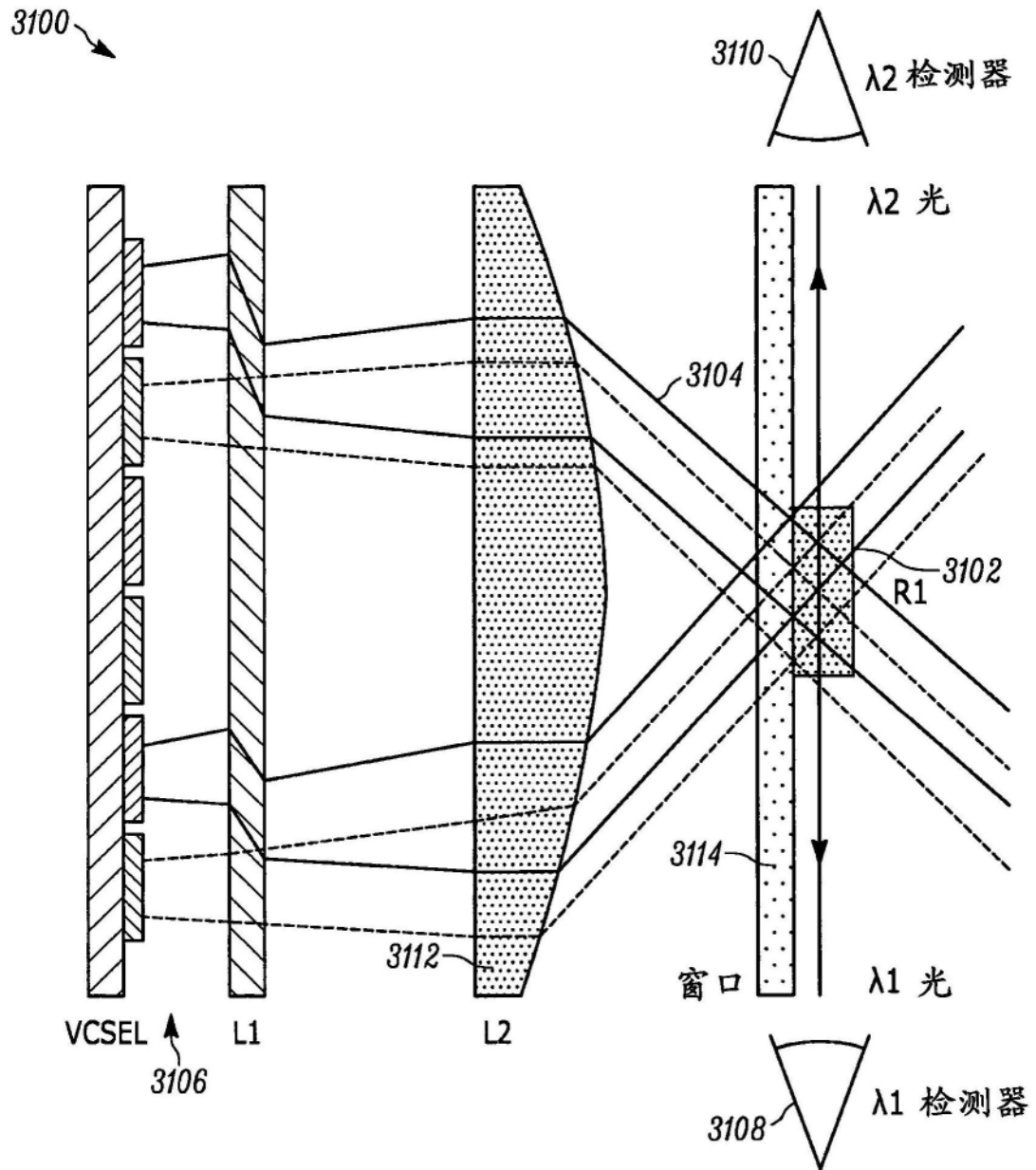


图31

