



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109983312 B

(45) 授权公告日 2022.03.22

(21) 申请号 201780068584.8

(22) 申请日 2017.06.26

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109983312 A

(43) 申请公布日 2019.07.05

(30) 优先权数据
15/276,532 2016.09.26 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.05.07

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2017/039306 2017.06.26

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/057084 EN 2018.03.29

(73) 专利权人 奥斯特公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 A·珀卡拉 M·弗里切特

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
有限公司 11038

代理人 李玲

(51) Int.Cl.

G01J 1/02 (2006.01)

G01J 1/08 (2006.01)

G02B 6/00 (2006.01)

审查员 邵文莉

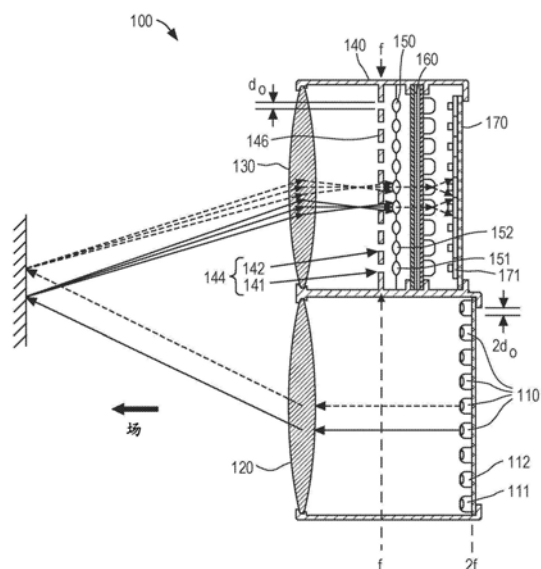
权利要求书2页 说明书12页 附图8页

(54) 发明名称

用于收集场内的距离信息的光学系统

(57) 摘要

提供了一种用于收集场内的距离信息的光学系统。该光学系统可以包括用于从场收集光子的透镜,并且可以包括用于将光子分布到场的透镜。该光学系统可以包括使由孔通过的光子准直的透镜、拒绝在工作波长之外的垂直入射光的滤光器以及检测入射光子的像素。该光学系统还可以包括输出工作波长的光子的照明源。



1. 一种用于收集场内的距离信息的光学系统,所述光学系统包括:
多个发射体,所述多个发射体中的每个发射体被配置为将照明光束投射到所述光学系统外部的场中;
具有与所述光学系统外部的场相对的焦平面的体成像光学装置;
包括多个像素的像素阵列;以及
与所述焦平面重合并且设置在所述体成像光学装置和所述像素阵列之间的孔层,所述孔层包括离散的多个孔,所述多个孔限定所述光学系统外部的所述场中超出距所述光学系统的阈值距离之外的多个离散非重叠视场;
其中所述孔层和所述像素阵列被布置以形成多个感测通道,所述多个感测通道中的每个感测通道包括来自所述像素阵列的像素和来自所述多个孔的为所述感测通道限定视场的孔,并且其中所述多个感测通道中的每个像素电耦合到包括计数器和寄存器的数字处理电子设备电路;
其中所述光学系统被配置为从所述多个离散非重叠视场内收集表示在发射照明光束与检测到来自从所述场中的物体反射的照明光束的光子之间的时间的距离数据。
2. 如权利要求1所述的光学系统,还包括透镜阵列,所述透镜阵列包括多个透镜,并且其中所述多个感测通道中的每个感测通道还包括来自所述多个透镜的透镜,所述透镜位于所述感测通道的孔和像素之间。
3. 如权利要求1或2所述的光学系统,其中所述多个感测通道中的每个像素的感测区域大于与所述像素共享感测通道的孔的区域。
4. 如权利要求3所述的光学系统,其中所述多个感测通道中的每个像素包括多个单光子雪崩二极管检测器SPAD。
5. 如权利要求4所述的光学系统,其中每个SPAD电耦合到包括计数器和寄存器的数字处理电子设备电路。
6. 如权利要求4至5中任一项权利要求所述的光学系统,在每个感测通道内还包括漫射器,所述漫射器被配置为使来自每个感测通道的光散布在所述感测通道内的所述多个SPAD上,其中所述漫射器被布置在所述孔层和所述像素阵列之间并且与所述像素阵列相邻。
7. 如权利要求1所述的光学系统,其中所述孔层包括沿着所述体成像光学装置的所述焦平面布置的薄的不透明结构。
8. 如权利要求1所述的光学系统,其中所述孔层中的相邻孔偏移大于每个孔的直径的孔间距离。
9. 如权利要求1所述的光学系统,其中所述多个感测通道中的每个像素被配置为输出与在采样周期内入射在所述像素上的光子的计数对应的信号或者信号流。
10. 如权利要求1所述的光学系统,在每个感测通道内还包括设置在所述体成像光学装置和所述像素阵列之间的滤光器,所述滤光器被配置为接收通过所述体成像光学装置的光并且将窄带的辐射传递到所述感测通道内的像素同时阻挡在所述窄带之外的辐射。
11. 如权利要求10所述的光学系统,其中:
所述系统还包括体发射器光学装置;并且
所述多个发射体中的每个发射体被配置为将工作波长的离散照明光束通过所述体发射器光学装置投射到所述光学系统外部的所述场中;以及

每个感测通道内的滤光器被配置为使包括所述工作波长的波长带的光通过同时阻挡在所述波长带之外的光,并且所述多个像素中的每个像素被配置为接收来自所述多个发射体中的对应一个发射体的光。

12.如权利要求11所述的光学系统,其中所述多个发射体是多个激光器。

13.如权利要求12所述的光学系统,其中所述多个激光器被布置在阵列中并且被配置为根据在距所述系统的距离范围内在尺寸和几何形状方面与所述多个感测通道的所述多个离散非重叠视场基本匹配的照明图案将多个离散照明光束投射在位于所述光学系统前方的场中。

14.如权利要求12所述的光学系统,其中所述多个激光器是单片垂直腔表面发射激光器VCSEL阵列。

15.如权利要求11至14中任一项权利要求所述的光学系统,其中所述系统被配置为用在围绕平行于孔列的轴旋转时收集三维距离数据的图像传感器,所述三维距离数据能够被重建为由所述系统占据的体积的虚拟三维表示。

16.一种用于收集场内的距离信息的光学系统,所述光学系统包括:

体发射器光学装置;

包括多个激光器的照明源,所述多个激光器中的每个激光器被配置为将工作波长的离散照明光束通过所述体发射器光学装置投射到所述光学系统外部的场中;

具有与所述光学系统外部的所述场相对的焦平面的体成像光学装置;

包括多个透镜的透镜阵列;

包括多个像素的像素阵列,其中所述多个像素中的每个像素电耦合到包括计数器和寄存器的数字处理电子设备电路;

与所述焦平面重合并且设置在所述体成像光学装置和所述像素阵列之间的孔层,所述孔层包括离散的多个孔,所述多个孔限定所述光学系统外部的所述场中超出距所述光学系统的阈值距离之外的多个离散非重叠视场,其中所述孔层、所述透镜阵列和所述像素阵列被布置以形成多个感测通道,所述多个感测通道中的每个感测通道包括来自所述像素阵列的像素、来自所述多个透镜的透镜和来自所述多个孔的为所述感测通道限定视场的孔,其中所述感测通道的透镜位于所述感测通道的孔和像素之间;

其中所述光学系统能够从所述多个离散非重叠视场内收集表示在发射离散照明光束与检测到来自从所述场中的物体反射的离散照明光束的光子之间的记录时间的距离数据。

17.如权利要求16所述的光学系统,其中所述多个感测通道中的每个像素的感测区域大于所述像素在所述多个孔中的对应孔的区域。

18.如权利要求17所述的光学系统,其中所述像素阵列中的每个像素包括分布在所述像素的感测区域上的多个SPAD。

19.如权利要求16至18中任一项权利要求所述的光学系统,在所述多个感测通道中的每个感测通道内还包括设置在体接收光学装置和所述像素阵列之间的滤光器,所述滤光器被配置为接收通过所述体接收光学装置的光并且使窄带的辐射通过同时阻挡在所述窄带之外的辐射。

20.如权利要求19所述的光学系统,其中所述多个激光器是单片VCSEL阵列。

用于收集场内的距离信息的光学系统

技术领域

[0001] 本发明一般而言涉及光学传感器领域,并且更具体而言,涉及光学传感器领域中用于收集距离信息的新颖且有用的光学系统。

附图说明

- [0002] 图1是系统的示意表示。
- [0003] 图2是根据系统的一个变型的示意表示。
- [0004] 图3是根据系统的一个变型的示意表示。
- [0005] 图4是根据系统的一个变型的示意表示。
- [0006] 图5是根据系统的一个变型的示意表示。
- [0007] 图6是根据系统的一个变型的示意表示。
- [0008] 图7是根据系统的一个变型的示意表示。
- [0009] 图8是根据系统的一个变型的示意表示。
- [0010] 图9是根据系统的一个变型的流程图表示。
- [0011] 图10是根据系统的一个变型的示意表示。
- [0012] 图11是根据系统的一个变型的示意表示。

具体实施方式

[0013] 对本发明实施例的以下描述并非旨在将本发明限制于这些实施例,而是使本领域技术人员能够制造和使用本发明。本文描述的变型、配置、实现方式、示例实现方式和示例是可选的,并且不专属于它们描述的变型、配置、实现方式、示例实现方式和示例。本文描述的发明可以包括这些变型、配置、实现方式、示例实现方式和示例的任何和所有置换。

[0014] 1. 一维光学系统:孔阵列

[0015] 如图1中所示,用于收集场内的距离信息的一维光学系统100包括:沿着第一轴布置的照明源集合110,照明源集合110中的每个照明源被配置为朝着场中的位于照明源前方的离散点输出工作波长的照明光束;由与场相对的焦平面表征的体成像光学装置(bulk imaging optic)130;与焦平面重合的孔层140,孔层140限定在平行于第一轴的线阵列中的孔集合144并且限定在孔集合144周围的停止区域(stop region)146,孔集合144中的每个孔限定场中的与由照明源集合110中的对应照明源输出的离散点重合的视场,停止区域146吸收从场中的位于由孔集合144限定的视场外部的表面反射并且通过体成像光学装置130的光线;透镜集合150,透镜集合150中的每个透镜由第二焦距表征、与体成像光学装置130相对地从焦平面偏移第二焦距、与孔集合144中的孔对准并且被配置为使由孔通过的光线准直;滤光器(optical filter)160,与透镜集合150相邻、与孔层140相对,并且被配置为使在工作波长的光线通过;像素集合170,与滤光器160相邻、与透镜集合150相对,像素集合170中的每个像素与透镜集合150中的透镜对应并且包括沿着不平行于第一轴的第二轴布置的子像素集合;以及漫射器(diffuser)180,插置在滤光器160和像素集合170之间并且被

配置为使从透镜集合150中的每个透镜输出的准直光散布在像素集合170中的对应像素的子像素集合上。

[0016] 1.1应用

[0017] 一般而言,一维光学系统100(“系统”)用作在围绕平行于孔列的轴旋转时收集由系统占据的体积的三维距离数据的图像传感器。具体而言,一维光学系统100可以扫描体积以收集之后可以被重建为该体积的虚拟三维表示的三维距离数据,诸如基于来自照明源的照明光束的发射与入射在像素集合170上的可能源自照明源的光子的检测之间的记录时间、基于相位法(phase-based)测量技术或者基于任何其它合适的距离测量技术。系统100包括:偏移孔列,布置在体成像光学装置130后面并且限定场中的位于体成像光学装置130前方的离散视场(即,超出距系统的阈值距离之外的非重叠视场);照明源集合110,将在工作波长的离散照明光束投射到(并且基本上只投射到)由孔限定的视场中;透镜列,使由对应孔通过的光线准直;以及滤光器160,选择性地使包括工作波长的窄带的光(即,电磁辐射)通过;以及像素集合170,检测入射光子(例如,计数入射光子、跟踪连续入射光子之间的时间)。因此,系统可以根据在距系统的距离范围内在尺寸和几何形状方面与孔的视场基本匹配的照明图案选择性地使照明光束投射到位于系统前方的场中。特别地,照明源被配置为基本上仅照明位于系统前方的场中的可以被系统中的像素检测的表面,使得由系统(经由照明源)输出的通过照明场中像素看不见的表面而浪费的功率最小。因此,系统可以实现输出信号(即,照明光束功率)与输入信号(即,被传递入射到像素阵列上的光子)的相对高的比率。此外,透镜集合150可以使由相邻孔通过的光线准直,使得入射在滤光器160上的光线以大约 0° 的入射角与滤光器160相遇,从而维持由滤光器160通过的相对窄的波长带,并且对于到达像素集合170的光线实现相对高的信噪比(“SNR”)。

[0018] 该系统包括布置在列中并且与孔对准的像素,并且每个像素的几何形状可以是非正方形的(例如,短和宽),以使系统的感测区域延伸固定孔间距和像素列高度。该系统还包括漫射器180,漫射器180使从孔通过滤光器160的光线散布在对应像素的区域上,使得像素可以检测在其整个宽度和高度内的入射光子,从而增加系统的动态范围。

[0019] 该系统在本文中被描述为将电磁辐射投射到场中并且检测从场中的表面反射回体接收器光学装置的电磁辐射。本文所述的术语“照明光束”、“光”、“光线”和“光子”是指这种电磁辐射。本文所述的术语“通道”是指孔层140中的一个孔、透镜集合150中的对应透镜以及像素集合170中的对应像素。

[0020] 1.2体成像光学装置

[0021] 系统包括由与场相对的焦平面表征的体成像光学装置130。一般而言,体成像光学装置130用于将来自系统外部的入射光线朝着焦平面投射,其中入射在孔层140的停止区域146上的光线被拒绝(例如,被镜反射(mirrored)或被吸收)并且其中入射到孔层140中的孔上的光线被传递到由焦距表征并且从焦平面偏移该焦距的透镜中。

[0022] 在一个实现方式中,体成像光学装置130包括由在系统的工作波长下的特定焦距表征的会聚透镜,诸如双凸透镜(图2中示出)或平凸透镜。体成像光学装置130还可以包括多个离散透镜,这些离散透镜协作以朝着孔层140投射光线并且由与场相对的复合焦平面表征,如图11中所示。但是,体成像光学装置130可以是任何其它合适类型的透镜或者任何其它类型或几何形状的透镜的组合。

[0023] 1.3孔层

[0024] 如图1和图2中所示,系统包括与焦平面重合的孔层140,孔层140限定在平行于照明源的轴的线阵列中的孔集合144并且限定在孔集合144周围的停止区域146,其中孔集合144中的每个孔限定场中的与由照明源集合110中的对应照明源输出的离散点重合的视场,并且其中停止区域146吸收和/或反射从场中的位于由孔集合144限定的视场外部的表面反射并且通过体成像光学装置130的光线。一般而言,孔层140限定开口区域(即,孔,对每个透镜包括一个孔)和相邻开口之间的封闭区域(“停止区域”)的阵列。孔层140中的每个孔限定“小孔(pinhole)”,该小孔限定其对应感测通道的视场并且使从其视场内的外表面反射的光传递到其对应的透镜中,并且每个停止区域146可以阻挡入射到焦平面的选择区域上的光线进入透镜阵列,如图6中所示。

[0025] 孔层140包括与体成像光学装置130的焦平面重合(例如,沿着其布置)的相对薄的不透明结构,如图1和图2中所示。例如,孔层140可以包括在可光固化(photocurable)的透明聚合物上沉积(例如,电镀)然后被选择性地蚀刻以形成孔阵列的10微米厚的铜、银或镍膜。在类似的示例中,反射金属化层或光吸收光聚合物(例如,混有光吸收染料的光聚合物)可以沉积在玻璃晶片上并且利用光掩模进行选择性地固化以形成孔层140和孔集合144。可替代地,孔层140可以包括离散金属膜,该离散金属膜被机械地或化学地穿孔以形成孔阵列、结合到透镜阵列并且然后沿着焦平面安装在体成像光学装置130上方。但是,孔层140可以包括以任何其它方式形成的任何其它反射(例如,镜反射)或光吸收材料,以限定沿着体成像光学装置130的焦平面的孔阵列。

[0026] 在一维光学系统100中,孔层140可以限定具有基本均一直径的多个离散圆形孔的单个列,其中每个孔限定与透镜阵列中的一个透镜基本平行并对准的轴,如图3中所示。相邻孔偏移孔间距距离,该孔间距距离大于孔直径并且基本上类似于透镜间距距离,并且孔层140限定相邻孔之间的停止区域146(即,不透明或反射区域),使得孔限定用于其对应感测通道的离散非重叠视场。当直径越来越小直到衍射极限直径(衍射极限直径随入射光的波长和体成像透镜的数值孔径变化)时,孔限定越窄的视场(即,具有更小直径的视场)并且将来自体成像光学装置130的更尖锐但更低强度(衰减)的信号传递到其对应的透镜中。因此,孔层140可以限定具有这样直径的孔:大于针对由照明源输出的光的波长(例如,900nm)的衍射极限直径;基本上大于孔层140的厚度;并且小于孔间距距离,该孔间距距离基本上等同于透镜间距距离和像素间距距离。在一个示例中,孔层140可以限定直径接近衍射极限直径的孔,以最大化每个感测通道的视场的几何选择性。可替代地,孔可以具有小于针对由照明源输出的光的波长的衍射极限直径的直径。在一个示例中,孔层140可以限定直径与系统中的照明源的功率输出匹配并且与像素集合170中的每个像素中的子像素光电检测器的数量和光子检测能力匹配的孔,以实现在每个采样周期内入射在每个像素上的光子的目标数量。在这个示例中,每个孔可以限定特定直径,该特定直径实现在采样周期期间源自对应照明源并且入射在体成像光学装置130上的像素的目标衰减范围。特别地,因为孔层140中的孔使被传递到其对应透镜并且到达其对应像素上的信号衰减,所以孔的直径可以与其对应像素的动态范围匹配。

[0027] 在一个实现方式中,孔层140中的第一孔141将从场(感测通道的视场)中的位于体成像光学装置130前方的表面的离散区域反射的光线传递到其对应的透镜中;插置在第一

孔141和孔层140中的相邻孔之间的停止区域146阻挡从位于第一孔141的视场外部的表面的区域反射的光线传递到与第一孔141对应的透镜中。因此,在一维光学系统100中,孔层140限定了孔列,该孔列限定了具有基本上无限的景深的多个离散非重叠视场,如图2中所示。

[0028] 在这个实现方式中,孔层140中的第一孔141限定独特的(distinct)并且不与由孔层140中的另一个孔限定的视场相交的视场,如图2中所示。照明源集合110包括第一照明源111,第一照明源111与第一孔141配对并且被配置为投射与场中的位于体成像光学装置130前方的第一孔141的视场基本对准(即,重叠)的照明光束。此外,第一照明源111和体发射光学装置120可以协作,以在距体成像光学装置130的各种距离处投射横截面与第一孔141的视场的横截面基本相似(并且略大)的照明光束。因此,由与第一孔141配对的第一照明源111输出并且被投射到第一孔141的视场中的光可以基本上保持在孔层140中的其它孔的视场外部。

[0029] 一般而言,由第一照明源111投射到场中的光子照明场中的位于第一感测通道的视场内的表面(或多个表面)的特定区域并且被该表面(或该多个表面)反射(例如,散射);被表面的特定区域反射的这些光子中的至少一些光子可以到达体成像光学装置130,体成像光学装置130将这些光子朝着焦平面引导。因为这些光子被第一孔141的视场内的表面的区域反射,所以体成像光学装置130可以将这些光子投射到第一孔141中,并且第一孔141可以将这些光子传递到第一透镜151中(或者这些光子的以相对于第一孔141的轴的低于阈值角度的角度入射的子集)。但是,因为孔层140中的第二孔142从第一孔141偏移并且因为场中的经由第一照明源111照明的表面的特定区域与第二孔142的视场(基本上)不重合,所以由该表面的特定区域反射并且到达体成像光学装置130的光子被投射到第二孔142中并且被传递到第二孔142后面的第二透镜152,反之亦然,如图2中所示。此外,第一孔和第二孔142之间的停止区域146可以阻挡被体成像光学装置130反射的被引导朝着第一孔和第二孔142之间的焦平面的光子,从而减少第一感测通道和第二感测通道之间的串扰。

[0030] 对于孔层140中的与照明源集合110中的第一照明源111配对的第一孔141,孔层140中的第一孔141限定第一视场并且将源于场中的与第一视场重合的表面或者从该表面反射的光线传递到第一透镜151中。因为第一照明源111投射的照明光束与由第一孔141限定的视场基本重合(并且尺寸基本相同或者最低程度大于该视场)(如图4所示),所以由孔层140中的第一孔141传递到第一透镜151中的信号可以表现出源自第一照明源111的光线与源自系统中其它照明源的光线的相对高的比率。一般而言,因为系统中的各种照明源可以在操作期间的特定时间输出不同频率、占空比和/或功率水平等的照明光束,所以从体成像光学装置130传递到像素集合170中的第一像素171但是源自除与第一像素171配对的第一照明源111之外的照明源的光线构成第一像素171处的噪声。尽管孔层140中的孔的相对小的直径可以衰减从体成像光学装置130传递到透镜集合150中的总光信号,但是孔层140中的每个孔可以传递相对高比例的源自其对应照明源的光子相比于源自系统中其它照明源的光子;即,由于特定孔及其对应照明源的几何形状,特定孔可以将表现出相对高SNR的信号传递到其对应的透镜并因此传递到其对应的像素中。此外,当孔层140中孔直径越小以及因此对应通道的视场越小时,系统可以将越少的来自从太阳辐射或其它环境光源的噪声传递到像素集合170。

[0031] 在一个变型中,系统包括插置在透镜阵列和滤光器160之间的第二孔层,其中第二孔层限定第二孔集合144,每个孔与透镜集合150中的对应透镜对准,如上所述。在这个变型中,如上所述,第二孔层140中的孔可以吸收或反射由对应透镜通过的错误光线,以进一步减少通道之间的串扰,从而改善系统内的SNR。类似地,系统可以附加地或可替代地包括插置在滤光器160和(一个或多个)漫射器180之间的第三孔层,其中第三孔层限定第三孔集合144,每个孔与透镜集合150中的对应透镜对准,如上所述。在这个变型中,如上所述,第三孔层中的孔可以吸收或反射由光滤波器(light filter)通过的错误光线,以再次减少通道之间的串扰,从而改善系统内的SNR。

[0032] 1.4透镜阵列

[0033] 系统包括透镜集合150,其中透镜集合150中的每个透镜由第二焦距表征、与体成像光学装置130相对地从焦平面偏移第二焦距、与孔集合144中的对应孔对准并且被配置为使由对应孔通过的光线准直。一般而言,透镜集合150中的透镜用于使由其对应孔通过的光线准直并将这些准直光线传递到滤光器160中。

[0034] 在一维光学系统100中,透镜布置在单个列中,并且相邻透镜偏移均一的透镜间距离(即,相邻像素之间的中心到中心距离),如图3中所示。透镜集合150插置在孔层和滤光器160之间。特别地,每个透镜可以包括会聚透镜,该会聚透镜由第二焦距表征,并且可以与体成像光学装置130相对地从体成像光学装置130的焦平面偏移第二焦距,以保留体成像光学装置130的孔并且使入射在体成像光学装置130上并被对应孔通过的光准直。透镜集合中的每个透镜由相对短的焦距(即,小于体成像光学装置130的焦距)和相对大的边缘射线角度(marginal ray angle)表征(例如,相对高数值孔径的透镜),使得透镜可以通过体成像光学装置130的范围捕获朝着透镜投射的高角度光线。即,透镜集合中的每个透镜可以由基本上与体成像光学装置130的射线锥(ray cone)相匹配的射线锥表征。

[0035] 透镜集合150中的透镜可以基本相似。透镜集合150中的透镜被配置为使由体成像光学装置130聚焦到其对应孔中的光线准直。例如,透镜集合150中的透镜可以包括由基于其对应孔的尺寸(例如,直径)和系统的工作波长选择的焦距表征的双凸透镜或平凸透镜。在这个示例中,可以根据以下公式计算透镜集合150中的透镜的焦距(f):

$$[0036] \quad f = \frac{d^2}{2\lambda}$$

[0037] 其中d是孔层中对应孔的直径,并且 λ 是由照明源输出的光的工作波长(例如,900nm)。因此,透镜集合150中的透镜的几何形状可以与孔层中的对应孔的几何形状匹配,使得透镜将工作波长处或附近的基本上尖锐的光线图像传递到滤光器160中并且因此传递到像素阵列上。

[0038] 但是,透镜集合150可以包括具有任何其它几何形状并且以任何其它方式与孔层相邻布置的透镜。

[0039] 1.5滤光器

[0040] 如图3中所示,系统包括滤光器160,该滤光器160与透镜集合150相邻、与孔层相对并且被配置为使工作波长的光线通过。一般而言,滤光器160从透镜集合150接收光谱内的电磁辐射、将包括工作波长的辐射的相对窄带的电磁辐射传递到像素阵列并且阻挡在该带之外的电磁辐射。特别地,入射在像素集合170中的像素上的除由照明源输出的电磁辐射之

外的诸如环境光之类的电磁辐射构成系统中的噪声。因此,滤光器160用于拒绝在工作波长之外的电磁辐射,或者更实用地,拒绝在窄波长带之外的电磁辐射,从而降低系统中的噪声并且增加SNR。

[0041] 在一个实现方式中,滤光器160包括带通滤光器(optical bandpass filter),该带通滤光器使基本上以系统的工作波长为中心的窄带的电磁辐射通过。在一个示例中,照明源输出(主要为)900nm的工作波长的光,并且滤光器160被配置为使899.95nm和900.05nm之间的光通过并且阻挡在该带之外的光。

[0042] 滤光器160可以根据滤光器160上的入射角选择性地通过和拒绝光波长。一般而言,带通滤光器可以使与光在带通滤光器上的入射角成反比的波长的光通过。例如,对于包括0.5nm宽的带通滤光器的滤光器160,对于以大约0°的入射角入射在滤光器160上的光线,滤光器160可以使从899.75nm到900.25nm的尖锐带上的电磁辐射的95%以上通过并且拒绝低于899.70nm和高于900.30nm的电磁辐射的大约100%。但是,在这个示例中,对于以大约15°的入射角入射在滤光器160上的光线,滤光器160可以使从899.5nm到900.00nm的窄带上的电磁辐射的95%以上通过并且拒绝低于899.50nm和高于900.30nm的更宽带上的电磁辐射的大约100%。因此,滤光器160的入射平面可以基本垂直于透镜的轴,并且透镜集合150可以使通过对应孔接收的光线准直并且输出基本垂直于滤光器160的入射平面(即,以在滤光器上大约0°的入射角)的这些光线。具体而言,透镜集合150可以以大约0°的入射角朝着滤光器160输出光线,使得由滤光器160通过的基本上所有电磁辐射都处于或非常接近系统的工作波长。

[0043] 在一维光学系统100中,系统可以包括跨越透镜集合150中的透镜列的单个滤光器160。可替代地,系统可以包括多个滤光器160,每个滤光器与透镜集合150中的单个透镜或透镜子集合相邻。但是,滤光器160可以限定任何其它几何形状并且可以以任何其它方式用于仅使有限波长带的光通过。

[0044] 1.6像素阵列和漫射器

[0045] 系统包括与滤光器160相邻、与透镜集合150相对的像素集合170,像素集合170中的每个像素与透镜集合150中的透镜对应并且包括沿着不平行于第一轴的第二轴布置的子像素集合。一般而言,像素集合170与透镜集合150相对地从滤光器160偏移,并且像素集合170中的每个像素用于输出与在一个或多个采样周期内入射在像素上的光子的计数对应的单个信号或信号流,其中每个采样周期的持续时间可以是皮秒、纳秒、微秒或毫秒。

[0046] 系统还包括漫射器180,漫射器180插置在滤光器160和像素集合170之间并且被配置为使从透镜集合150中的每个透镜输出的准直光散布在像素集合170中的单个对应像素的子像素集合上。一般而言,对于透镜集合150中的每个透镜,漫射器180用于使先前由透镜准直并由滤光器160通过的光线散布在对应像素内的感测区域的宽度和高度上。漫射器180可以限定跨越透镜集合150的单个光学元件,或者漫射器180可以包括多个离散光学元件,诸如包括与系统中的每个通道对准的一个光学漫射器元件。

[0047] 在一个实现方式中,像素集合170中的第一像素171包括单光子雪崩二极管检测器(下文中的“SPAD”)阵列,并且漫射器180使先前由对应的第一孔141通过、由对应的第一透镜151准直并由滤光器160通过的光线散布在第一像素171的区域上,由如图3、图5和图6所示。一般而言,相邻的孔可以对准并且竖直偏移孔间距距离,相邻的透镜可以对准并且竖直

偏移基本等同于孔间距距离的透镜间距距离,并且相邻的像素可以对准并且竖直偏移基本等同于透镜间距距离和孔间距距离的像素间距距离。但是,像素间距距离可以仅容纳相对小数量的(例如,两个)竖直堆叠的SPAD。因此,像素集合170中的每个像素可以限定大于1:1的纵横比,并且漫射器180可以根据对应像素的几何形状散布由滤光器160通过的光线,以便对每个像素容纳更大的感测区域。

[0048] 在一个示例中,像素集合170中的每个像素布置在图像传感器上,并且像素集合170中的第一像素171包括沿着与将孔和透镜的列二等分的竖直轴垂直的横向轴间隔开的16个SPAD的单个行。在这个示例中,第一像素171中的单个SPAD的高度可以小于第一透镜151的高度(例如,直径),但是16个SPAD的总长度可以大于第一透镜151的宽度(例如,直径);因此,漫射器180可以将从第一透镜151输出的光线会聚到与第一像素171的平面处的SPAD的高度对应的高度,并且可以将从第一透镜151输出的光线发散到与第一像素171的平面处的16个SPAD的宽度对应的宽度。在这个示例中,像素集合170中的剩余像素可以包括类似的SPAD的行,并且漫射器180可以类似地将由对应孔通过的光线会聚和发散到对应的像素上。

[0049] 在前述示例中,孔层可以包括16个相似孔的列,透镜集合150可以包括布置在孔层后面的16个相似透镜的列,并且像素集合170可以包括布置在透镜集合150后面的16个相似像素的集合,每个像素包括相似的SPAD阵列。对于6.4mm宽、6.4mm高的图像传感器,每个像素可以包括16个SPAD的单个行,其中每个SPAD电耦合到远程模拟前端处理电子设备/数字处理电子设备电路240。每个SPAD可以布置在400 μ m宽、400 μ m高的SPAD区域中,并且可以限定直径接近400 μ m的有源感测区域。相邻的SPAD可以偏移400 μ m的SPAD间距距离。在这个示例中,沿着孔的竖直列的孔间距距离、沿着透镜的竖直列的透镜间距距离以及沿着像素的竖直列的像素间距距离相应地各自可以大约为400 μ m。对于系统中的第一感测通道(即,第一孔141、第一透镜151和第一像素171等),第一漫射器180可以使从第一透镜151通过滤光器160的圆柱形光线(诸如对于孔层纵横比为1:4,直径约为100 μ m的光柱)发散到与第一像素171中的SPAD行竖直对准的大约400 μ m的高度。第一漫射器可以类似地使从第一透镜151通过滤光器160的圆柱形光线发散到在第一像素171中的SPAD行内水平居中的大约6.4 μ m的宽度。系统中的其它漫射器180可以类似地使由对应透镜通过的准直光发散(或会聚)在像素集合170中的对应像素内。因此,在这个示例中,通过将每个SPAD(或每个像素)连接到远程模拟前端处理电子设备/数字处理电子设备电路240并且通过整合使由滤光器160通过的光散布在对应像素的广度(breadth)和高度上的漫射器180,系统可以实现在图像传感器内的相对高的感测区域填充因子。

[0050] 因此,在一维光学系统100中,像素集合170中的像素可以包括以超过1:1的纵横比布置的多个SPADS的阵列,并且漫射器180可以使光线散布在对应的非正方形像素上,这使得相对大数量的SPAD能够平铺(tile)在单个像素内,以相比于对每个像素具有单个SPAD的图像传感器实现在图像传感器内的更大动态范围,如图3中所示。特别地,通过对每个像素(即,每个感测通道)整合多个SPAD,系统中的第一感测通道可以检测在SPAD的死区时间(deadtime)特性的跨度内源自场中的由第一孔141限定的视场界定的表面的多个入射光子。因此,第一感测通道可以检测其视场中的“更亮”的表面。附加地或可替代地,第一感测通道中的第一像素171可以比第一像素171中的SPAD的死区时间特性更快地采样,因为虽然

第一像素171中的SPAD的第一子集可能在第一采样周期期间由于在第一采样周期期间入射光子的收集而停止运行(或“死”),但是第一像素171中的其它SPAD保持运行(或“活着”)并且因此可以在随后的采样周期期间收集入射光子。此外,通过整合由光电检测器的相对高纵横比表征的像素,图像传感器可以包括偏移相对小像素间距的像素,但是系统100仍然可以实现相对高动态范围的像素。

[0051] 但是,像素集合170中的像素可以包括以任何其它阵列(诸如以 64×1 网格阵列(如上所述)、以 32×2 网格阵列,或者以 16×4 网格阵列)布置的任何其它数量的SPAD,并且漫射器180可以相应地以任何其它合适的方式使准直光线会聚和/或发散到对应的像素上。此外,像素集合170中的每个像素还可以包括如上所述布置的一个或多个线性雪崩光电二极管、Geiger模式雪崩光电二极管、光电倍增管、谐振腔光电二极管、QUANTUM DOT检测器或其它类型的光电检测器而不是SPAD(或除了SPAD以外),并且(一个或多个)漫射器180可以类似地使由(一个或多个)滤光器160通过的信号会聚和发散在对应的像素内,如本文所述。

[0052] 1.7照明源

[0053] 系统包括沿着第一轴布置的照明源集合110,照明源集合110中的每个照明源被配置为朝着场中的位于照明源前方的离散点输出工作波长的照明光束。一般而言,每个照明源用于输出与由孔集合144中的对应孔限定的视场重合的照明光束,如图1和图2中所示。

[0054] 在一个实现方式中,照明源集合110包括体发射器光学装置和对每个感测通道的一个离散发射体。例如,照明源集合110可以包括单片VCSEL阵列,该单片VCSEL阵列包括离散发射体集合。在这个实现方式中,体发射器光学装置可以在材料、几何形状(例如,焦距)、热隔离等方面与体成像光学装置130基本等同,并且体发射器光学装置与体成像光学装置130相邻并且从体成像光学装置130横向和/或竖直偏移。在第一示例中,照明源集合110包括激光器阵列,该激光器阵列包括布置在列中的离散发射体,其中相邻发射体偏移基本等同于孔间距距离的发射体间距距离。在这个第一示例中,每个发射体输出直径基本上等同于或略大于孔层中的对应孔的直径的照明光束,并且发射体列沿着体发射器光学装置的焦平面布置,使得从体发射器光学装置投射到场中的每个照明光束与对应感测通道的视场相交并且具有与对应感测通道的视场基本相同的尺寸和几何形状,如图4中所示。因此,由照明源集合110中的每个发射体输出的基本上所有功率可以被投射到其对应感测通道的视场中,其中照明场中的在感测通道的视场外部的表面所浪费的功率相对最小。

[0055] 在第二示例中,离散发射体类似地布置在列中,其中相邻发射体偏移两倍于孔间距距离的发射体间距距离,如图2中所示。在这个第二示例中,每个发射体由直径大约(或略大于)为孔层中对应孔的直径的两倍的照明有源区域(或孔)表征,并且发射体列在体发射器光学装置后面偏移体发射器光学装置的焦距的两倍,使得从体发射器光学装置投射到场中的每个照明光束与对应感测通道的视场相交并且具有与对应感测通道的视场相交基本相同的尺寸和几何形状,如上所述。此外,对于相同的照明光束功率密度,在这个第二示例中由发射体输出的照明光束可以包含由在上述第一示例中的发射体输出的照明光束的功率的四倍。因此,系统可以包括发射体集合,该发射体集合根据发射体间距距离布置,被配置为输出一定直径的照明光束,并且在体发射器光学装置后面偏移随比例因子(例如,2.0或3.0)和1)孔层中的孔间距距离、2)孔层中的孔的直径以及3)体发射器光学装置的焦距变化的偏移距离。因此,系统可以包括照明子系统,该照明子系统成比例地大于对应的接收器

子系统,以实现在接收器子系统中的对应通道的相同光束角度和视场内的更大总输出照明功率。

[0056] 系统还可以包括多个离散照明源集合,每个照明源集合110与和体成像光学装置130相邻的离散的体发射器光学装置配对。例如,系统可以包括围绕体成像光学装置130径向图案化的在距体成像光学装置130的均一径向距离处并且间隔开 120° 的角度距离的第一体发射器光学装置、第二体发射器光学装置和第三体发射器光学装置。在这个示例中,系统可以包括激光器阵列,其中在第一体发射器光学装置、第二体发射器光学装置和第三体发射器光学装置中的每一个后面有如上所述的一个发射体。因此,每个离散激光器阵列及其对应的体发射器光学装置可以将照明光束集合投射到由孔层中的对应孔限定的视场中。因此,在这个示例中,与单个激光器阵列和一个体发射器光学装置相比,三个离散激光器阵列和三个对应的体发射器光学装置可以协作,以将三倍的功率投射到系统中感测通道的视场上。附加地或可替代地,系统可以包括多个离散激光器阵列和体发射器光学装置以:1) 实现在对每个感测通道具有多个更低功率的发射体的情况下输出到接收器子系统每个感测通道的视场中的目标照明功率;和2) 在近场中的更大区域上分布光能以实现小于人眼的阈值可允许光能密度的光能密度。

[0057] 但是,系统可以包括任何其它数量和配置的照明源集合以及被配置为照明由感测通道限定的视场的体发射器光学装置。照明源集合110还可以包括任何其它合适类型的发射器,诸如由单个激光二极管供电的 1×16 分光器、侧发射激光二极管阵列、LED阵列或量子点LED阵列等。

[0058] 1.8制造

[0059] 在一个实现方式中,制造体接收器透镜、孔层、透镜集合150、滤光器160和漫射器180,并且然后将它们与图像传感器对准并安装在图像传感器上。例如,可以通过涂覆熔融石英基板来制造滤光器160。然后,可以将光活性光学聚合物沉积在滤光器160上,并且可以将透镜模具放置在光活性光学聚合物上,并且激活UV光源以将光活性光学聚合物固化成在滤光器160上图案化的透镜的形式。可以经由光刻技术在滤光器160上类似地模制或形成支架(standoff),并且然后可以将由选择性固化的金属化玻璃晶片限定的孔层结合或以其它方式安装到支架上以形成孔层。然后可以反转组件,并且可以在滤光器160的相对侧上类似地制造离散漫射器集合和支架。然后,离散的图像传感器可以与支架对准并且结合到支架,并且体成像光学装置130可以类似地安装在孔层上。

[0060] 可替代地,可以实现光刻和晶片级结合技术,以将体光学成像光学装置、孔层、透镜集合150、滤光器160和漫射器180直接制造到包含检测器芯片的未切割半导体晶片上,以便简化制造、降低成本并降低光学堆叠高度以减少像素串扰。

[0061] 2. 一维光学系统:透镜管(lens tube)

[0062] 系统的一种变型包括:沿着第一轴布置的照明源集合110,照明源集合110中的每个照明源被配置为朝着场中的位于照明源前方的离散点输出工作波长的照明光束;体成像光学装置130,由与场相对的焦平面表征;透镜管集合210,布置在平行于第一轴的线阵列中,透镜管集合210中的每个透镜管包括由焦距表征、从焦平面偏移该焦距并且被配置为使从场中被光学装置集合中对应照明源照明的离散点到体成像光学装置130中反射到体成像光学装置130中的光线准直的透镜;以及圆柱形壁218,与焦平面相对地从透镜延伸,限定基

本垂直于第一轴的长轴,并且被配置为吸收从场中的位于由对应照明源照明的离散点外部的区域反射到体成像光学装置130中的入射光线。在这个变型中,系统还包括:滤光器160,与透镜管集合210相邻、与焦平面相对并且被配置为使工作波长的光线通过;像素集合170,与滤光器160相邻、与透镜集合150相对,像素集合170中的每个像素与透镜集合150中的透镜对应并且包括沿着垂直于第一轴的第三轴对准的子像素集合;以及漫射器180,插置在滤光器160和像素集合170之间,并且被配置为使从透镜集合150中的每个透镜输出的准直光散布在像素集合170中的对应像素的子像素集合上。

[0063] 一般而言,在这个变型中,系统包括替换(或附加于)上述每个孔和透镜对的透镜管。在这个变型中,每个透镜管可以由第二(短)焦距表征,并且可以从体成像光学装置130的焦平面偏移第二焦距,以保留体成像光学装置130的孔并且使从体成像光学装置130接收的入射光准直,如上所述并且如图5和图7中所示。

[0064] 每个透镜管还限定不透明的圆柱形壁218,圆柱形壁218限定垂直于相邻滤光器160的入射平面的轴并且被配置为吸收入射光线,如图5中所示。一般而言,当轴向长度越大时,透镜管的圆柱形壁218可以吸收与透镜管的轴成越浅的角度通过透镜管的光线,从而减小透镜管的视场(如上所述,可以类似于减小孔层中的孔的直径直到衍射极限直径)并且产生更接近于与滤光器160的入射平面垂直的准直光线的输出信号。因此,每个透镜管可以限定细长圆柱形壁218,该细长圆柱形壁218的长度足以实现目标视场并且使与透镜管的轴成小于阈值角度的最大角度的准直光线通过。在这个变型中,透镜管因此可以用作如上所述的孔感测对,以限定窄视场并且将基本上准直的光输出到相邻的滤光器160。

[0065] 透镜管的圆柱形壁218可以限定围绕透明(或半透明)透镜材料的粗糙或图案化的不透明界面,如图5中所示,以增加入射在圆柱形壁218上的光线的吸收并减少其反射。每个透镜管(以及上述每个透镜)还可以涂有抗反射涂层。

[0066] 如图9中所示,在这个变型中,可以通过实现光刻技术使光活性光学聚合物(例如,SU8)图案化到滤光器160上(例如,在限定滤光器的硅晶片上)来制造透镜管集合210。然后将光吸收聚合物倒在透镜管之间并固化。然后可以分开地制造(例如,模制)透镜集合150,然后将其结合在透镜管上。可替代地,可以通过光刻技术将透镜直接制造在透镜管上。还可替代地,用于透镜的模具可以通过将聚合物注入布置在透镜管上的模具中而被直接铸造到透镜管上。单个漫射器180或多个离散漫射器180可以与透镜管相对地被类似地制造和/或组装在滤光器160上。从滤光器160延伸的支架可以类似地制造或安装在(一个或多个)漫射器180周围,并且图像传感器可以与滤光器160相对地与支架对准并结合。系统内的其它光学元件(例如,体成像透镜、体发射透镜等)可以根据类似的技术并利用类似的材料制造。

[0067] 3. 二维光学系统

[0068] 系统的另一个变型包括:布置在第一直线网格阵列中的照明源集合110,照明源集合110中的每个照明源被配置为朝着场中的位于照明源前方的离散点输出工作波长的照明光束;体成像光学装置130,由与场相对的焦平面表征;与焦平面重合的孔层,限定在与第一直线网格阵列成比例的第二直线网格阵列中的孔集合144,并且限定在孔集合144周围的停止区域146,孔集合144中的每个孔限定场中的与由照明源集合110中的对应照明源输出的离散点重合的视场,停止区域146吸收从场中的位于由孔集合144限定的视场外部的表面反

射并且通过体成像光学装置130的光线;透镜集合150,透镜集合150中的每个透镜由第二焦距表征、与体成像光学装置130相对地从焦平面偏移第二焦距、与孔集合144中的孔对准并且被配置为使由该孔通过的光线准直;滤光器160,与透镜集合150相邻、与孔层相对并且被配置为使工作波长的光线通过;像素集合170,与滤光器160相邻、与透镜集合150相对,像素集合170中的每个像素与透镜集合150中的透镜子集合对准;以及漫射器180,插置在滤光器160和像素集合170之间,并且被配置为使从透镜集合150中的每个透镜输出的准直光散布在像素集合170中的对应像素上。

[0069] 一般而言,在这个变型中,系统包括通道(即,孔、透镜和像素集合或者透镜管和像素集合)的二维网格阵列,并且被配置为在二维中对由系统占据的体积成像。该系统可以在二维场内收集一维距离数据,诸如采样周期内的入射光子的计数和/或入射在场中与已知视场对应的已知位置的像素上的连续光子之间的时间。然后,一维距离数据可以与系统中每个通道的视场的已知位置合并,以重建位于系统前方的场的虚拟三维表示。

[0070] 在这个变型中,孔层可以限定孔的网格阵列,透镜集合150可以布置在类似的网格阵列中,其中一个透镜与孔层中的一个孔对准,并且像素集合170可以对每个孔和透镜对包括一个像素,如上所述。例如,孔层可以限定200 μm 直径的孔的24 $\times$ 24网格阵列,孔竖直和横向偏移300 μm 的孔间距距离,并且透镜集合150可以类似地限定透镜的24 $\times$ 24网格阵列,透镜竖直和横向偏移300 μm 的透镜间距距离。在这个示例中,像素集合170可以包括300 μm 见方的像素的24 $\times$ 24网格阵列,其中每个像素包括九个100 μm 见方的SPAD的3 $\times$ 3正方形阵列。

[0071] 可替代地,在这个变型中,像素集合170可以对每组多个孔和透镜对包括一个像素。在前述示例中,像素集合170可以可替代地包括600 μm 见方的像素的12 $\times$ 12网格阵列,其中每个像素包括36个100 μm 见方的SPAD的6 $\times$ 6正方形阵列,并且其中每个像素与呈正方形网格的一组四个相邻透镜对准。在这个示例中,对于每组四个相邻透镜,漫射器180:可以使从在正方形网格中的(1,1)位置中的透镜输出的准直光线向上和向右偏置,以使通过(1,1)透镜的光线散布在对应像素的整个广度和宽度上;可以使从在正方形网格中的(2,1)位置中的透镜输出的准直光线向上和向左偏置,以使通过(2,1)透镜的光线散布在对应像素的整个广度和宽度上;可以使从在正方形网格中的(1,2)位置中的透镜输出的准直光线向下和向右偏置,以使通过(1,2)透镜的光线散布在对应像素的整个广度和宽度上;以及可以使从在正方形网格中的(2,2)位置中的透镜输出的准直光线向下和向左偏置,以使通过(2,2)透镜的光线散布在对应像素的整个广度和宽度上,如图8中所示。

[0072] 在前述示例中,对于呈正方形网格并且与呈正方形网格的一组四个透镜对应的每组四个照明源,系统可以在任何给定的时刻致动这组四个照明源中的一个照明源。特别地,对于与像素集合170中的一个像素对应的呈正方形网格的每组四个照明源,系统可以在第一采样周期期间致动在(1,1)位置中的第一照明源111,以照明由与对应一组四个透镜中在(1,1)位置中的透镜对应的第一孔141限定的视场,并且系统可以在第一采样周期期间对对应像素中的所有36个SPAD进行采样。然后,系统可以在随后的第二采样周期期间关闭第一照明源111并且致动在(1,2)位置中的第二照明源112,以照明由与对应一组四个透镜中在(1,2)位置中的透镜对应的第二孔142限定的视场,并且系统可以在第二采样周期期间对对应像素中的所有36个SPAD进行采样。随后,系统然后可以在随后的第三采样周期期间关闭第一照明源和第二照明源112并且致动在(2,1)位置中的第三照明源,以照明由与对应一组

四个透镜中在(2,1)位置中的透镜对应的第三孔限定的视场,并且系统可以在第三采样周期期间对对应像素中的所有36个SPAD进行采样。最后,系统可以在第四采样周期期间关闭第一照明源、第二照明源和第三照明源并且致动在(2,2)位置中的第四照明源,以照明由与对应一组四个透镜中在(2,2)位置中的透镜对应的第四孔限定的视场,并且系统可以在第四采样周期期间对对应像素中的所有36个SPAD进行采样。系统可以在其整个操作中重复这个过程。

[0073] 因此,在前述示例中,系统可以包括布置在宽度为7.2mm且长度为7.2mm的图像传感器内的像素集合170,并且可以实现扫描模式,使得系统中的每个通道都可以访问多个SPAD(可以将光线投射到多个SPAD上),否则将需要大得多的图像传感器(例如,14.4mm×14.4mm的图像传感器)。特别地,系统可以对每组照明源实现串行扫描模式,以实现系统中每个通道的动态范围的指数增加。特别地,在这个变型中,系统可以实现前述成像技术以增加系统的成像分辨率。

[0074] 在前述实现方式中,系统还可以包括在每个通道和图像传感器之间的快门182,并且当对应通道的照明源分别被致动和去激活时,系统可以选择性地打开和关闭每个快门182。例如,该系统可以包括插置在每个透镜之间的一个可独立操作的电致变色快门182,并且当(1,1)照明源被激活时,系统可以打开四个透镜的正方形网格组中的(1,1)透镜上方的电致变色快门182并且闭合(1,2)、(2,1)和(2,2)透镜上方的电致变色快门182,从而拒绝通过(1,2)、(2,1)和(2,2)透镜的噪声到达图像传感器上的对应像素。因此,系统可以选择性地打开和关闭每个通道和图像传感器之间的快门182,以在操作期间增加每个通道的SNR。可替代地,系统可以包括布置在每个像素的选择区域上方的一个可独立操作的电致变色快门182,如图8中所示,其中每个电致变色快门182与单个通道(即,与透镜集合中的单个透镜)对准。系统可以可替代地包括插置在透镜集合150和图像传感器之间的MEMS机械快门或任何其它合适类型的快门。

[0075] 在这个变型中,系统可以限定孔、透镜、漫射器和/或像素的二维网格阵列,该二维网格阵列由沿着第一(例如,X)轴的第一间距距离和沿着第二(例如,Y)轴的不同于第一间距距离的第二间距距离表征。例如,图像传感器可以包括偏移25μm水平间距和300μm竖直间距的像素,其中每个像素包括12个子像素的单个行。

[0076] 但是,在这个变型中,二维光学系统可以包括任何其它数量和图案的通道(例如,孔、透镜(或透镜管)和漫射器)和像素的阵列,并且可以执行任何其它合适的扫描模式,以对每个通道实现比图像传感器的原始像素分辨率高的空间分辨率。系统可以附加地或可替代地包括会聚光学装置、发散光学装置和/或任何其它合适类型的光学元件,以使从通道通过的光线散布在对应像素的广度上。

[0077] 如本领域技术人员从前面的详细描述以及从附图和权利要求中将认识到的,在不脱离由接下来的权利要求限定的本发明的范围的情况下,可以对本发明的实施例进行修改和改变。

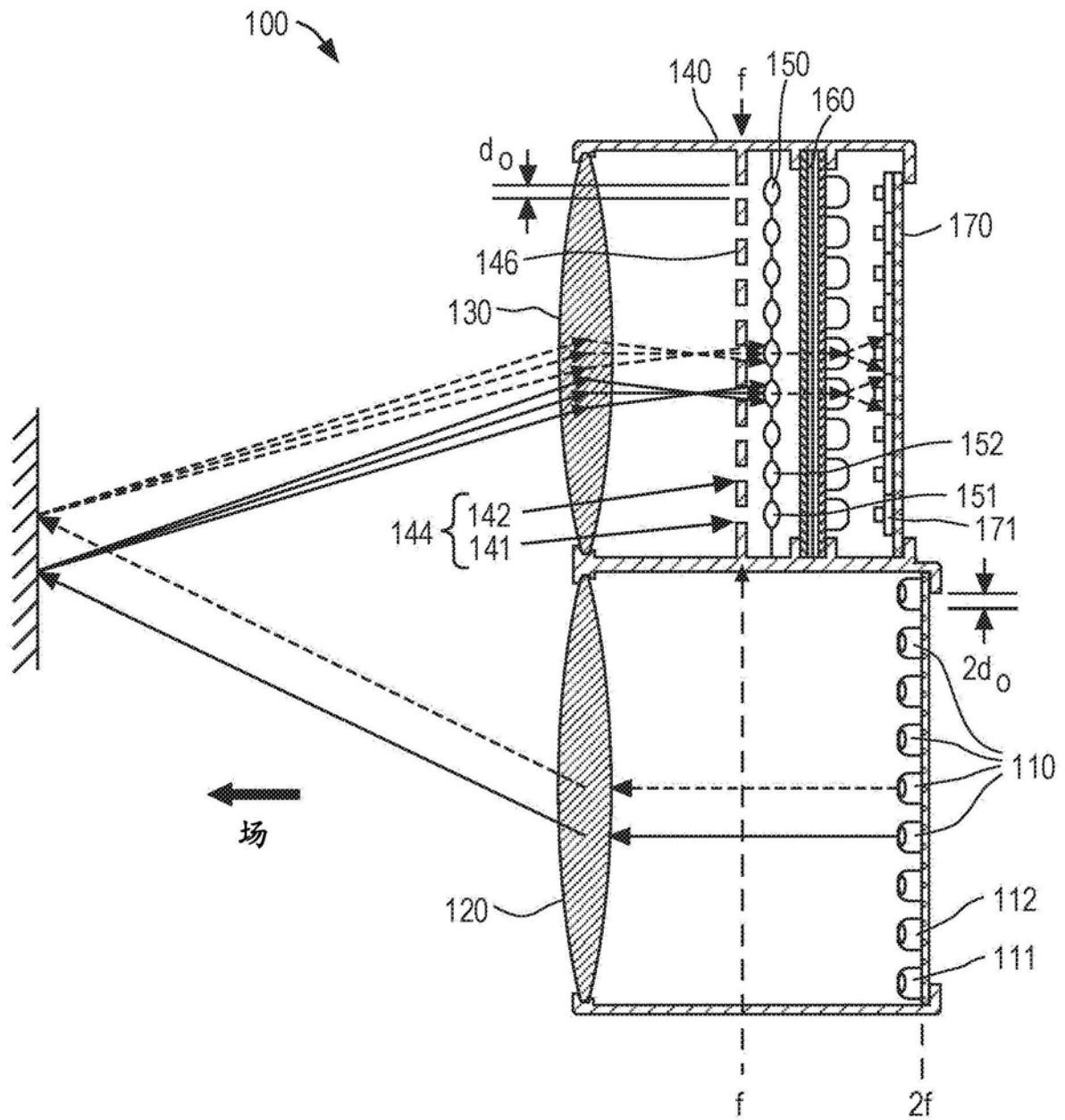


图1

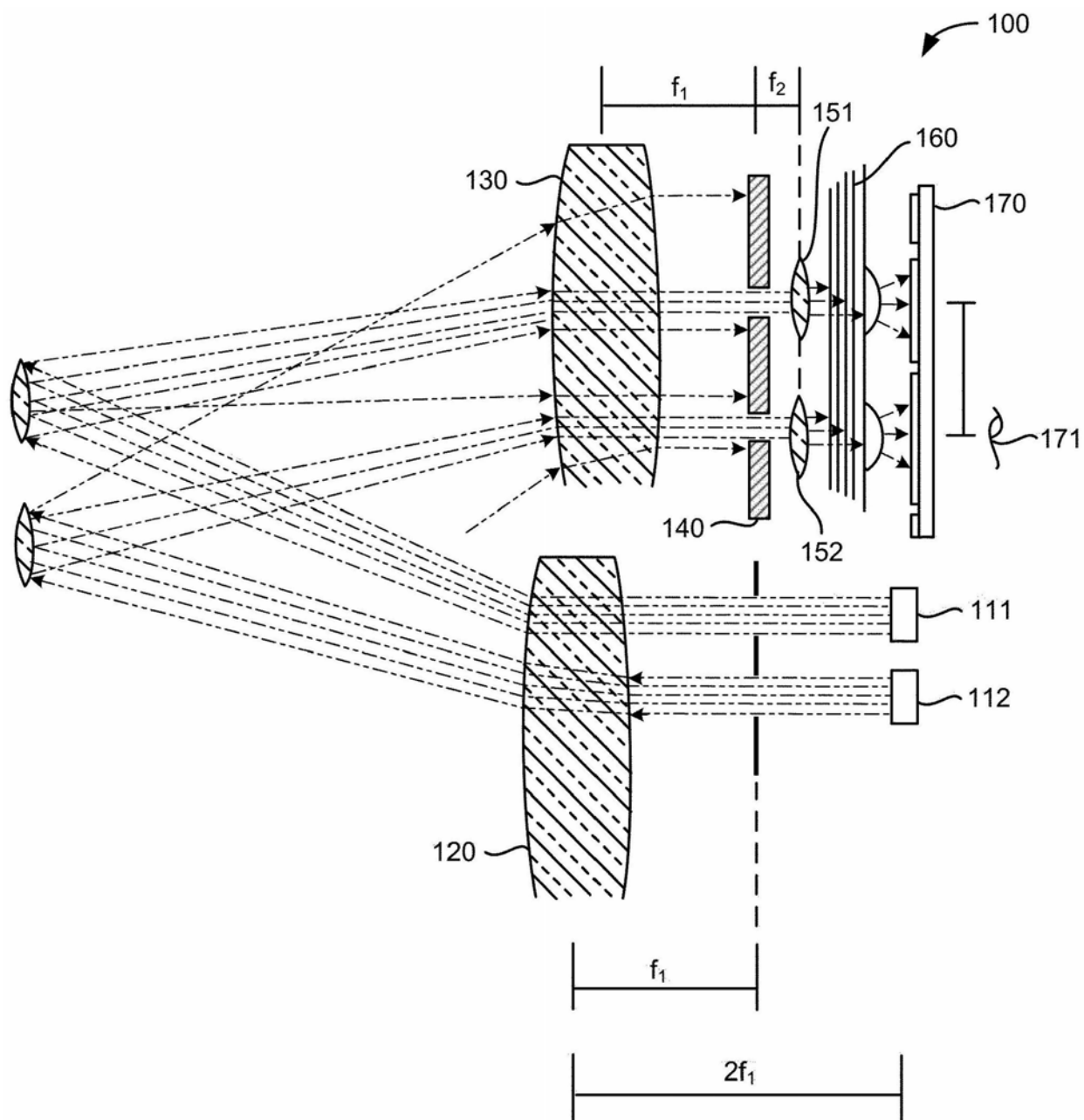


图2

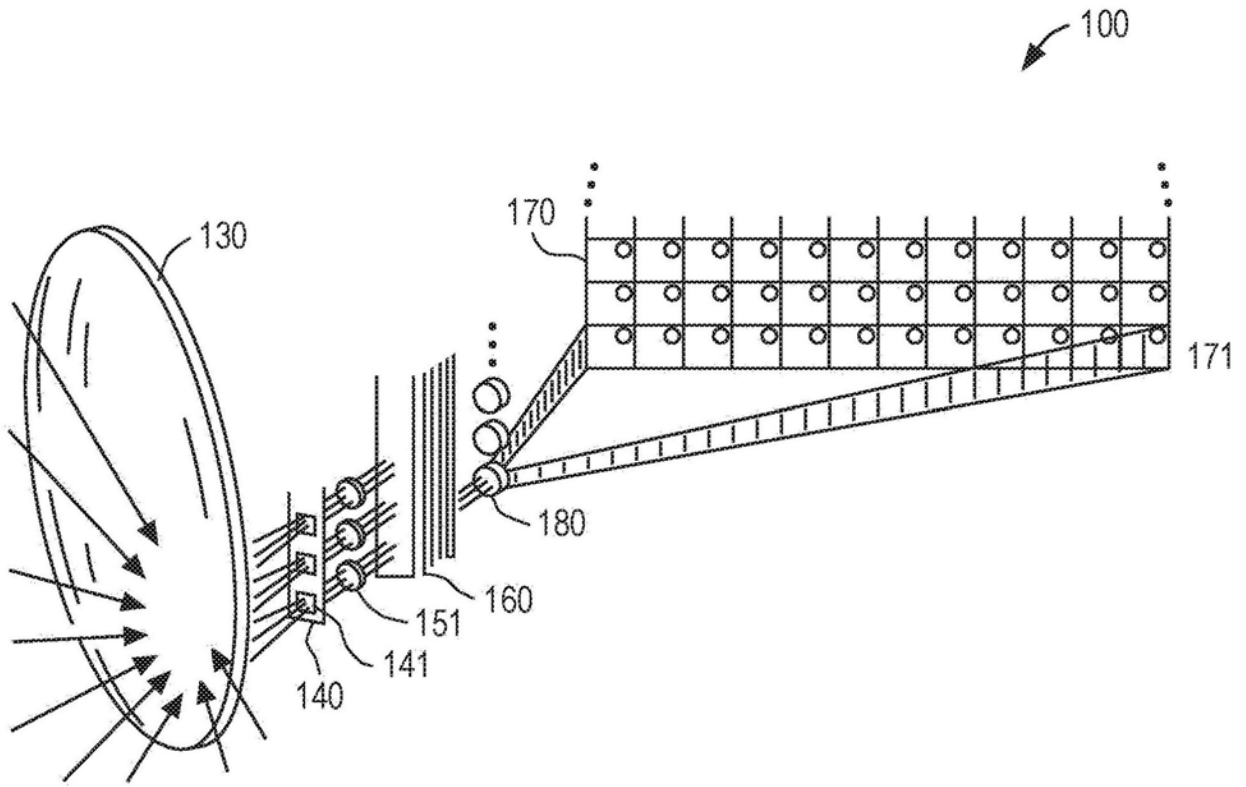


图3

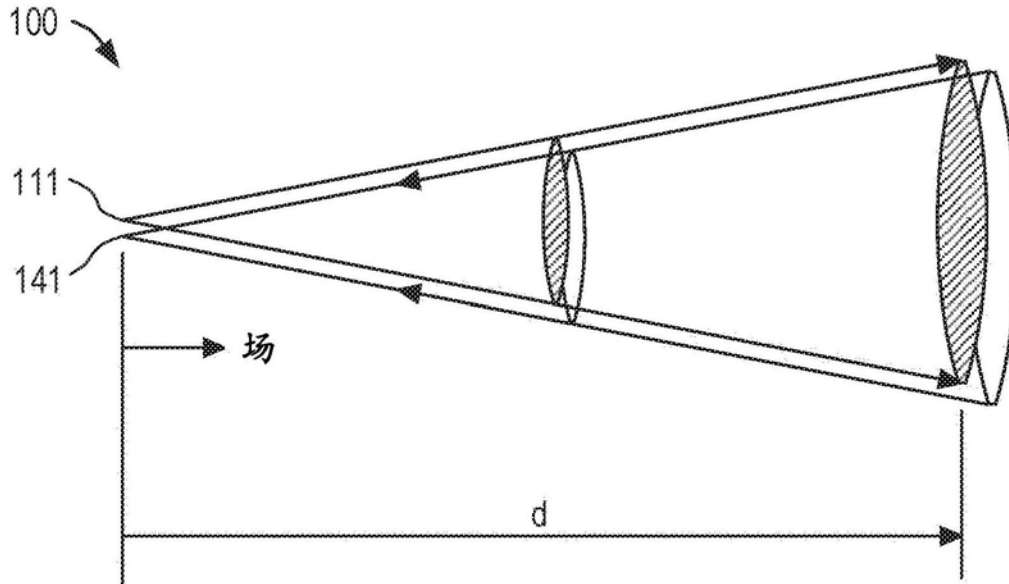


图4

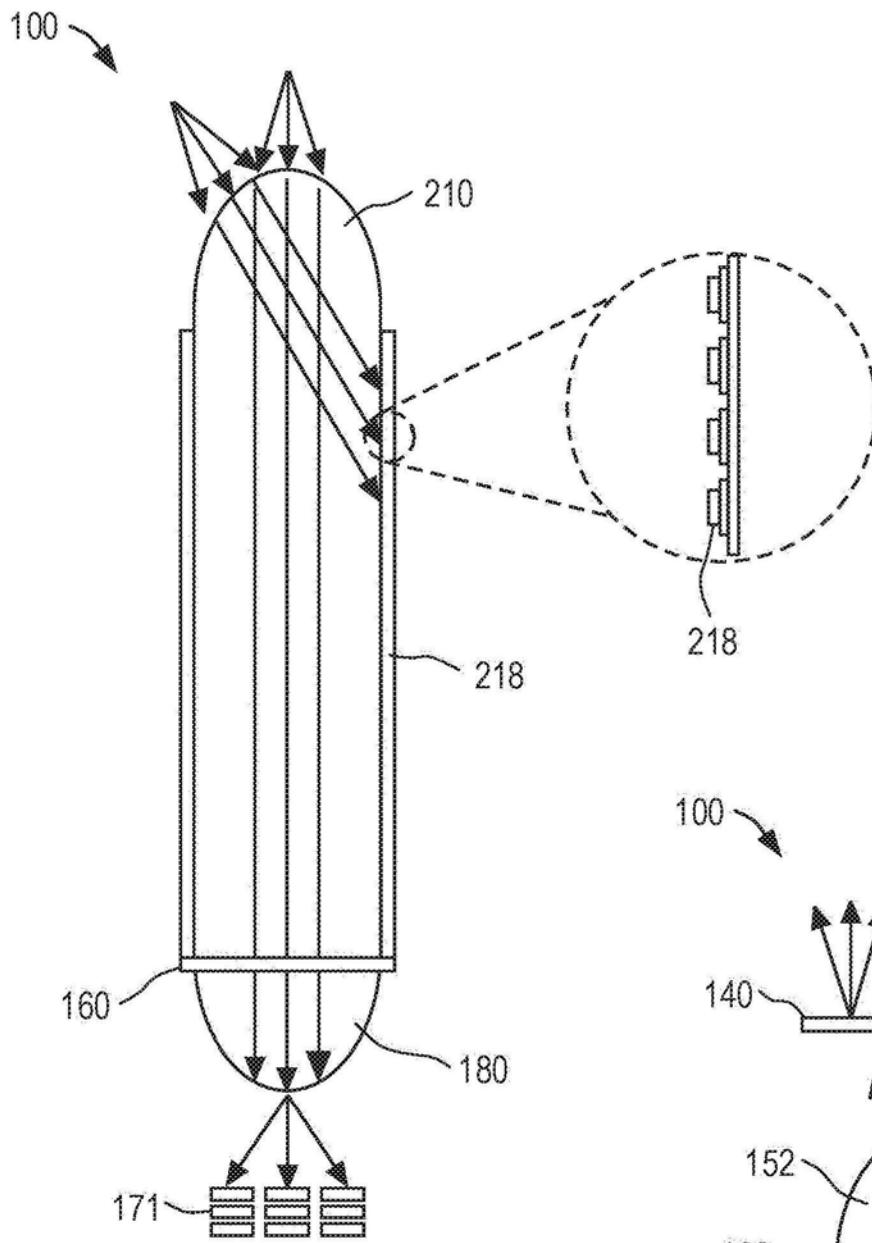


图 5

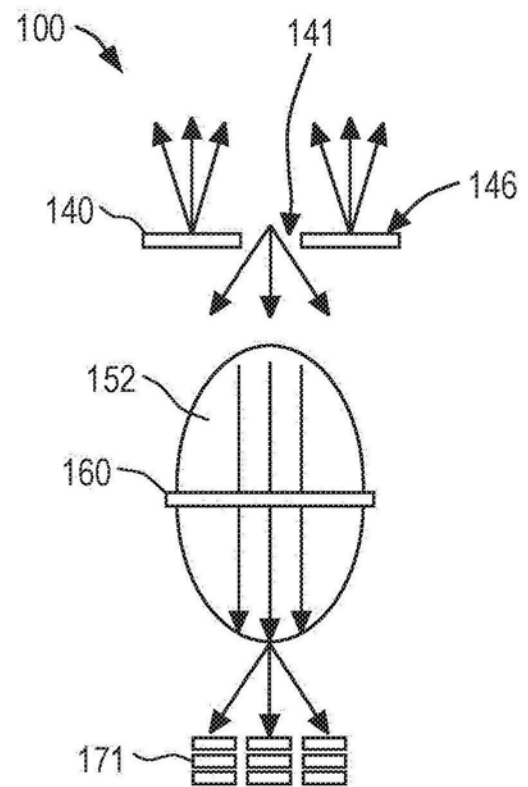


图 6

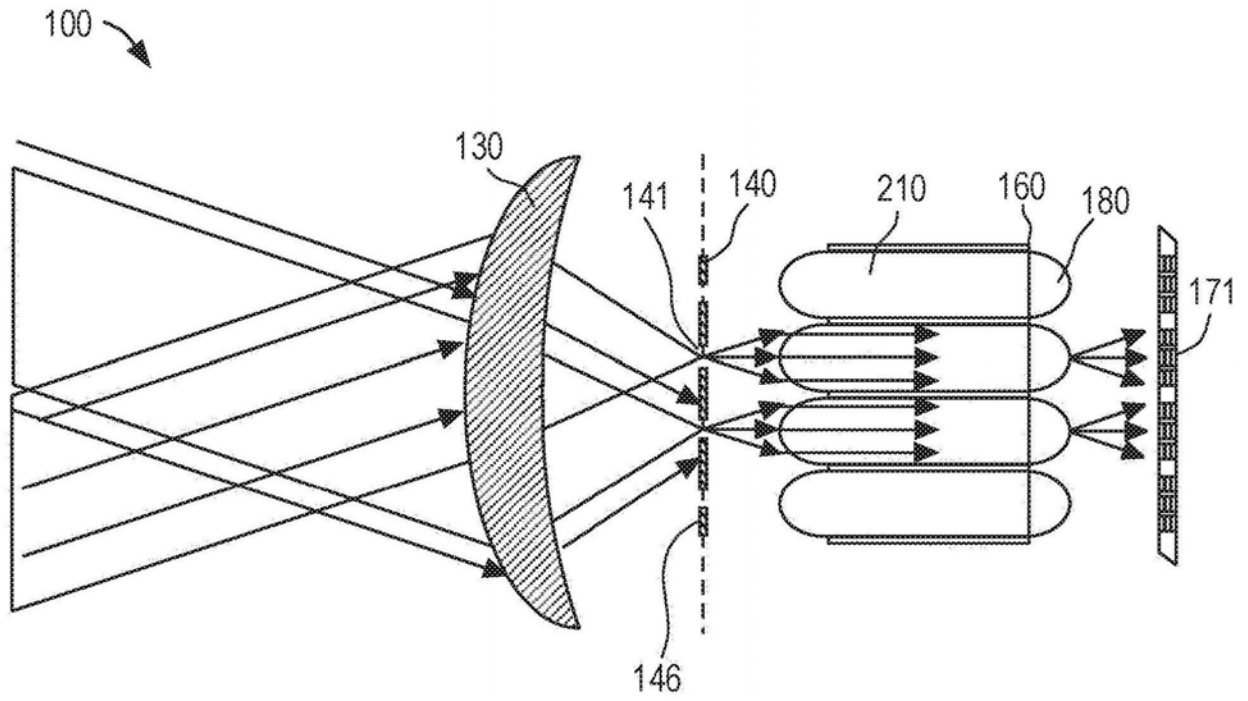


图7

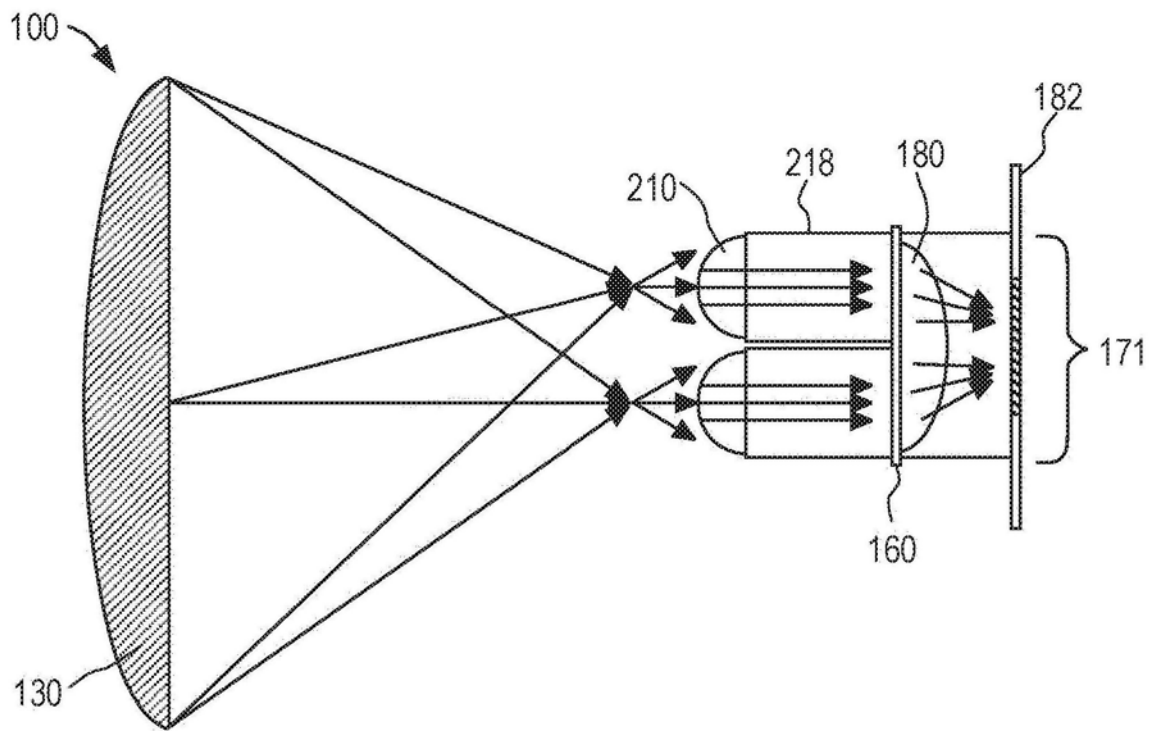


图8

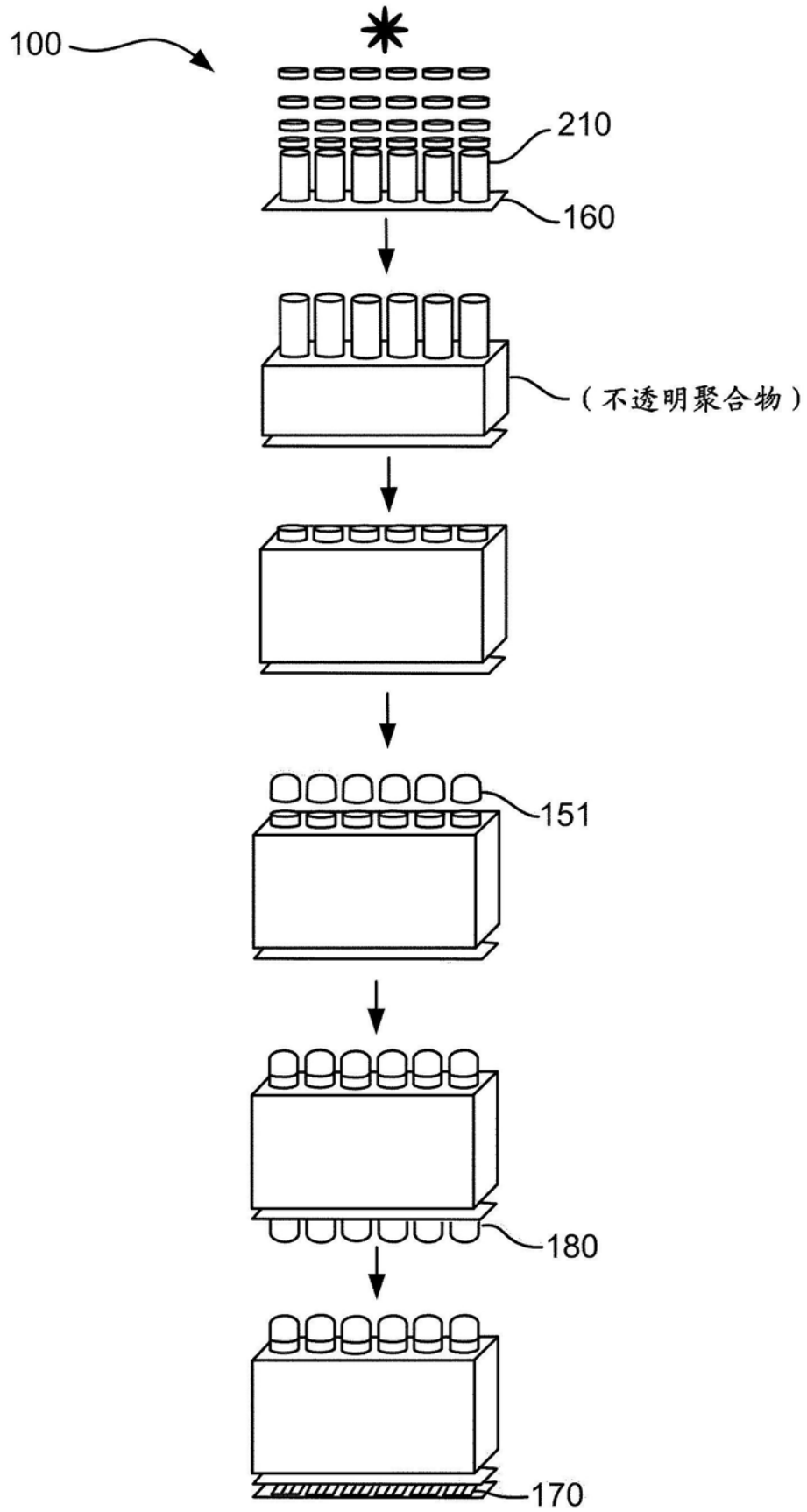


图9

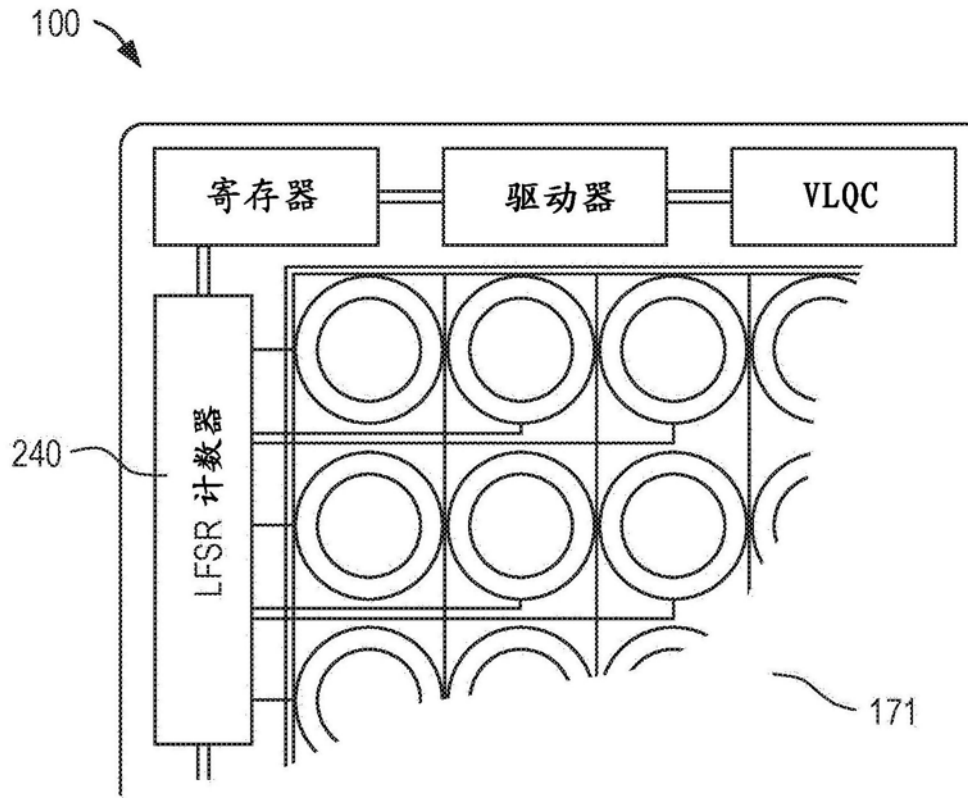


图10

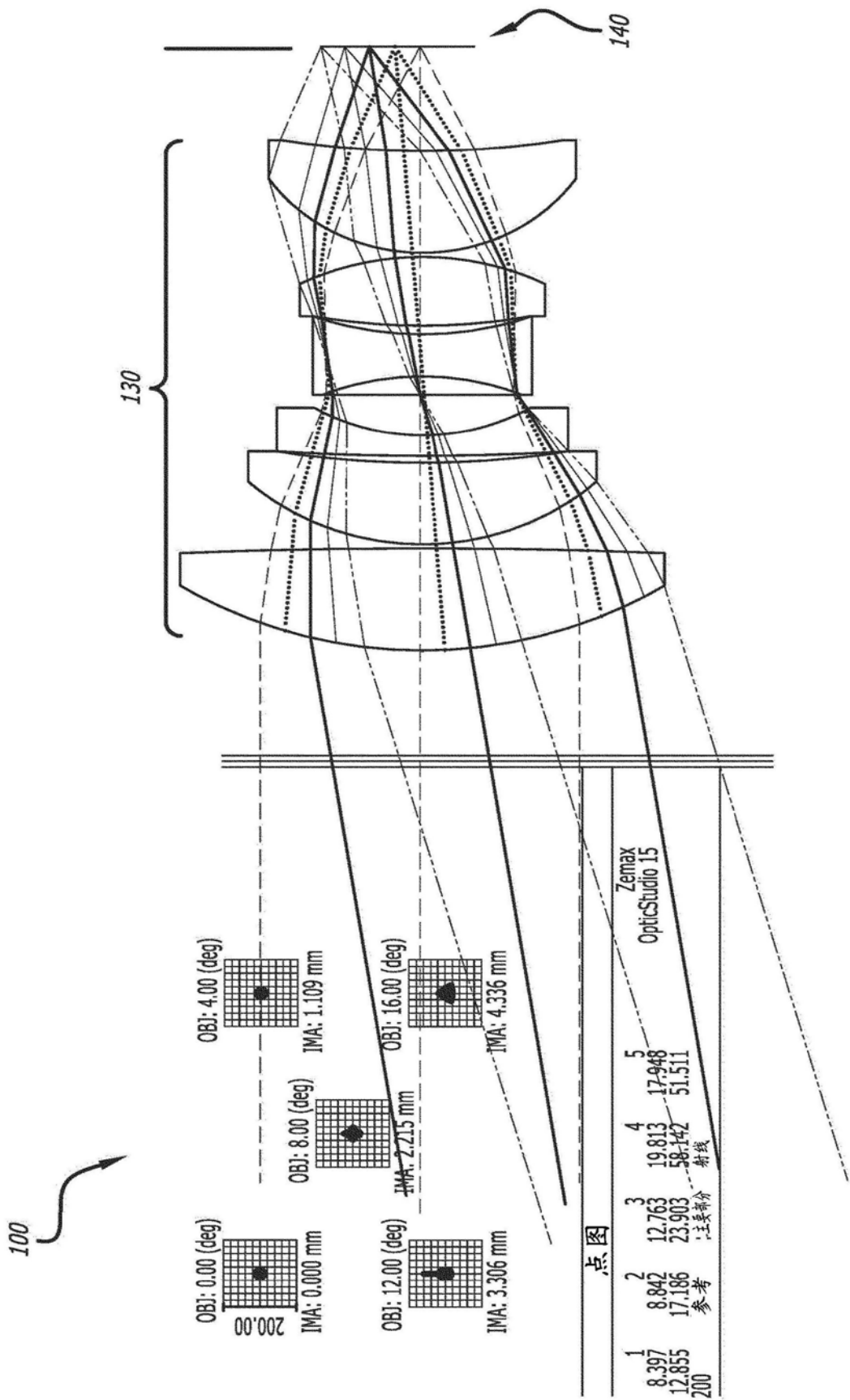


图11