



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120255032 A

(43) 申请公布日 2025. 07. 04

(21) 申请号 202510428773.8

G02B 27/44 (2006.01)

(22) 申请日 2020.07.24

(30) 优先权数据

62/878,962 2019.07.26 US

(62) 分案原申请数据

202080060755.4 2020.07.24

(71) 申请人 梅特兰兹股份有限公司

地址 美国

(72) 发明人 R·C·德夫林 J·格拉夫

(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 周磊

(51) Int. Cl.

G02B 1/00 (2006.01)

G02B 5/18 (2006.01)

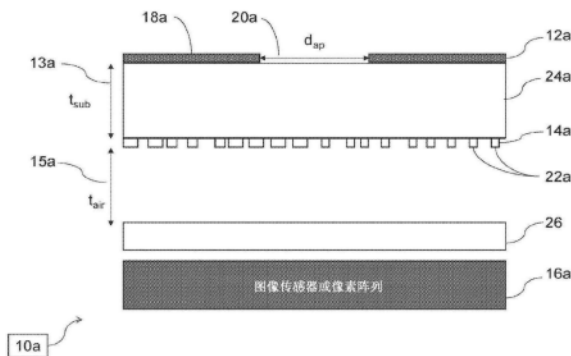
权利要求书2页 说明书14页 附图23页

(54) 发明名称

孔隙-超表面和混合折射-超表面成像系统

(57) 摘要

本公开内容涉及孔隙-超表面和混合折射-超表面成像系统。提供并有常规的光学元件和超表面元件及光源和/或检测器的混合成像系统，及制造以及操作此类光学布置的方法。系统和方法描述在照明源和传感器中集成孔隙与超表面元件和集成折射光学器件与超表面元件。



1. 一种成像系统,包括:

至少一个图像传感器;

具有衬底厚度的衬底层,所述衬底层被配置成能被光的目标波长透射,所述衬底层具有远离所述至少一个图像传感器的第一表面和靠近所述至少一个图像传感器的第二表面;

间隔层,所述间隔层在所述衬底的第二表面与所述图像传感器之间创建气隙;以及

超表面,所述超表面包括安置在所述第一表面或所述第二表面中任一表面上的多个相同或独特的纳米结构化元件的单层,使得光穿过所述纳米结构化元件的至少一部分,使得借此施加角度偏转,

其中所述超表面被配置为横跨指定视场收集指定操作带宽的光,并使入射光移位,使得其以零度或接近零度的主光线角聚焦在所述至少一个图像传感器上,

其中所述图像传感器和所述超表面在平面视图中具有矩形几何形状,以及

其中所述矩形超表面被配置为将所述指定视场的矩形图像创建到所述矩形图像传感器上。

2. 根据权利要求1所述的成像系统,其中所述超表面安置在所述第一表面上。

3. 根据权利要求2所述的成像系统,进一步包括在所述纳米结构化元件与所述至少一个图像传感器之间安置在所述第二表面上的窄带宽光学滤波器。

4. 根据权利要求2所述的成像系统,其中所述图像传感器与所述间隔层接触。

5. 根据权利要求1所述的成像系统,其中所述超表面安置在所述第二表面上。

6. 根据权利要求1所述的成像系统,其中所述视场为至少 ± 30 度。

7. 一种成像系统,包括:

至少一个图像传感器;

具有衬底厚度的衬底层,所述衬底层被配置成能被光的目标波长透射,所述衬底层具有远离所述至少一个图像传感器的第一表面和靠近所述至少一个图像传感器的第二表面;

至少一个折射透镜,所述至少一个折射透镜安置在所述衬底上方并被配置为将照射的光聚焦到所述衬底层的第一表面上;以及

多个相同或独特的纳米结构化元件的单层,包括安置在所述第一表面或所述第二表面中任一表面上的超表面,使得照射在所述至少一个折射透镜上的光穿过所述纳米结构化元件的至少一部分,使得借此施加角度偏转,

其中所述至少一个折射透镜与所述超表面之间的距离被间隔为第一距离,

其中所述折射透镜和所述超表面被配置为横跨指定视场收集指定操作带宽的光,并使入射光移位,使得其以零度或接近零度的主光线角聚焦在所述至少一个图像传感器上,

其中至少所述图像传感器和超表面具有矩形几何形状,

其中所述图像传感器由竖直尺寸 v 和水平尺寸 h 表征,且其中所述至少一个折射透镜由所述至少一个折射透镜的 f 数 N 表征, N 被定义为 $N=f/D$,其中 f 为所述成像系统的焦距且 D 为所述至少一个折射透镜的直径,以及

其中超表面宽度通过下式给出:

$$w=v+f/N, \text{ 以及}$$

其中超表面长度 l 通过下式给出:

$$l=h+f/N.$$

8. 根据权利要求7所述的成像系统,其中所述至少一个折射透镜选自由以下各者组成的组:平凸、凸平、双凸、双凹、平凹或凹平。

9. 根据权利要求7所述的成像系统,其中折射透镜中的至少一者的至少一部分与所述第一表面互连。

10. 根据权利要求7所述的成像系统,其中所述至少一个折射透镜包括至少两个折射透镜,所述至少两个折射透镜包括凸凹透镜和凹凸透镜。

11. 根据权利要求7所述的成像系统,其中所述至少一个折射透镜包括至少两个折射透镜,所述至少两个折射透镜包括凸凹透镜、双凸透镜和/或凹平透镜。

12. 根据权利要求7所述的成像系统,其中所述至少一个折射透镜具有圆形几何形状。

孔隙-超表面和混合折射-超表面成像系统

[0001] 本申请是申请日为2020年7月24日、申请号为202080060755.4、题为“孔隙-超表面和混合折射-超表面成像系统”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本公开涉及超表面元件的光学布置、并有折射光学器件、光源和/或检测器及此类超表面元件的集成式系统,及此类光学布置和集成式系统的制造方法。

背景技术

[0003] 超表面元件为衍射光学器件,其中个别波导元件具有亚波长间隔且具有平面轮廓。超表面元件最近被开发用于UV-IR波段(300至10,000nm)中。相较于传统的折射光学器件,超表面元件突然将相移引入到光场上。这使得超表面元件的厚度与所述超表面元件被设计以操作的光的波长相当,而传统的折射表面的厚度比所述折射表面被设计以操作的光的波长大10至100倍(或更大)。另外,超表面元件在构成元件的厚度方面没有变化,且因此能够在无任何曲率的情况下对光进行塑形,这是折射光学器件所需要的。相较于传统的衍射光学元件(DOE),例如二元衍射光学器件,超表面元件能够在入射光场上赋予一系列相移,至少超表面元件可具有0到 2π 之间的相移,其中所述范围具有至少5个不同值,而二元DOE仅能够赋予两个不同的相移值且通常限于0或 1π 的相移。相较于多级DOE,超表面元件不需要其构成元件沿着光轴的高度变化,仅超表面元件特征的平面内几何形状发生变化。

发明内容

[0004] 本申请案涉及超表面元件的光学布置、并有光源和/或检测器及此类超表面元件的集成式系统,及此类光学布置和集成式系统的制造方法。

[0005] 许多实施例涉及成像系统,该成像系统包含:

[0006] 至少一个图像传感器;

[0007] 具有衬底厚度的衬底层,其安置于所述至少一个图像传感器上方的第一距离处,所述衬底层被配置成能被光的目标波长透射,所述衬底层具有远离所述至少一个图像传感器的第一表面和靠近所述至少一个图像传感器的第二表面;

[0008] 孔隙,其安置在所述衬底的所述第一表面上且具有安置于其中的孔隙开口;及

[0009] 多个相同或独特的纳米结构化元件的单层,其包括安置在所述第二表面上的超表面,使得照射在所述孔隙开口上的光穿过所述超表面的至少一部分,使得借此施加指定的角度偏转;

[0010] 其中所述孔隙与超表面元件的层之间的距离被由所述衬底厚度确定的第二距离分开;且

[0011] 其中所述孔隙和超表面元件的层被配置成横跨指定视场收集具有指定的操作带宽的光,且使入射光移位,使得其以零或接近零度的主光线角聚焦在所述至少一个图像传感器上。

- [0012] 在又许多实施例中,所述系统进一步包含安置在所述至少一个图像传感器顶上的玻璃盖。
- [0013] 在仍许多中,所述第一距离由包括固态间隔材料或气隙中的一个的间隔层确定。
- [0014] 在再又许多实施例中,所述视场为至少 ± 30 度。
- [0015] 在再又许多实施例中,所述系统进一步包含安置于所述超表面元件与所述至少一个图像传感器之间的窄带宽光学滤波器。
- [0016] 各种实施例涉及一种成像系统,其包含:
- [0017] 至少一个图像传感器;
- [0018] 具有衬底厚度的衬底层,所述衬底层被配置成能被光的目标波长透射,所述衬底层具有远离所述至少一个图像传感器的第一表面和靠近所述至少一个图像传感器的第二表面;
- [0019] 孔隙,其安置于所述衬底上方且具有安置于其中的孔隙开口;及
- [0020] 多个相同或独特的纳米结构化元件的单层,其包括安置在所述第一表面或所述第二表面中的一个上的超表面,使得照射在所述孔隙开口上的光穿过所述超表面的至少一部分,使得借此施加指定的角度偏转;
- [0021] 其中所述孔隙与超表面层之间的距离被第一距离分开;且
- [0022] 其中所述孔隙和所述超表面层被配置成横跨指定视场收集具有指定的操作带宽的光,且使入射光移位,使得其以零或接近零度的主光线角聚焦在所述至少一个图像传感器上。
- [0023] 在又各种实施例中,所述系统进一步包含所述衬底的所述第二表面与所述图像传感器之间的气隙。
- [0024] 在仍各种实施例中,间隔层安置于所述气隙内。
- [0025] 在再又各种实施例中,所述超表面层安置在所述第一表面上。
- [0026] 在再又各种实施例中,所述系统进一步包含在所述超表面元件与所述至少一个图像传感器之间安置在所述第二表面上的窄带宽光学滤波器。
- [0027] 在再又各种实施例中,所述孔隙的至少一部分与所述第一表面互连。
- [0028] 在再又各种实施例中,所述超表面层安置在所述第二表面上。
- [0029] 在再又各种实施例中,所述图像传感器与所述第二表面接触。
- [0030] 在再又各种实施例中,所述视场为至少 ± 30 度。
- [0031] 若干实施例涉及一种成像系统,其包含:
- [0032] 至少一个图像传感器;
- [0033] 具有衬底厚度的衬底层,所述衬底层被配置成能被光的目标波长透射,所述衬底层具有远离所述至少一个图像传感器的第一表面和靠近所述至少一个图像传感器的第二表面;
- [0034] 至少一个折射透镜,其安置于所述衬底上方且被配置成将照射光聚焦在所述衬底层的所述第一表面上;及
- [0035] 多个相同或独特的纳米结构化元件的单层,其包括安置在所述第一表面或所述第二表面中的一个上的超表面,使得照射在所述至少一个折射透镜上的光穿过所述超表面元件的至少一部分,使得借此施加角度偏转;

- [0036] 其中所述至少一个折射透镜与超表面元件的层之间的距离被第一距离分开;且
- [0037] 其中所述折射透镜和超表面元件的层被配置成横跨指定视场收集具有指定的操作带宽的光,且使入射光移位,使得其以零或接近零度的主光线角聚焦在所述至少一个图像传感器上。
- [0038] 在又若干实施例中,所述系统进一步包含所述衬底的所述第二表面与所述图像传感器之间的气隙。
- [0039] 在仍若干实施例中,间隔层安置于所述气隙内。
- [0040] 在再又若干实施例中,所述超表面层安置在所述第一表面上。
- [0041] 在再又若干实施例中,所述系统进一步包含在所述超表面元件与所述至少一个图像传感器之间安置在所述第二表面上的窄带宽光学滤波器。
- [0042] 在再又若干实施例中,所述折射透镜中的至少一个的至少一部分与所述第一表面互连。
- [0043] 在再又若干实施例中,所述超表面层安置在所述第二表面上。
- [0044] 在再又若干实施例中,所述图像传感器与所述第二表面接触。
- [0045] 在再又若干实施例中,所述视场为至少 ± 30 度。
- [0046] 在再又若干实施例中,所述至少一个折射透镜选自由以下各者组成的群组:平凸、凸平、双凸、双凹、平凹,或凹平。
- [0047] 在再又若干实施例中,所述系统包含至少两个折射透镜,所述至少两个折射透镜包括凸凹透镜及凹凸透镜。
- [0048] 在再又若干实施例中,所述系统包含至少三个折射透镜,所述至少三个折射透镜包括凸凹透镜、双凸透镜及凹平透镜。
- [0049] 在各种以上实施例中,至少成像传感器和超表面具有矩形几何形状。
- [0050] 在又各种以上实施例中,靠近超表面的至少一个折射透镜具有圆形几何形状。
- [0051] 在仍各种以上实施例中,所述图像传感器是由竖直尺寸 v 和水平尺寸 h 表征,且其中所述至少一个折射透镜是由透镜的 f 数 N 表征,所述 N 被定义为 $N=f/D$,其中 f 为光学系统的焦距且 D 为透镜的直径,且其中超透镜宽度通过下式给出: $w=v+f/N$,且其中超透镜长度 l 通过下式给出: $l=h+f/N$ 。
- [0052] 在以下描述中部分地阐述额外实施例和特征,且在参阅本说明书后,所述额外实施例和特征将部分地变得对本领域的技术人员显而易见,或可通过实践本公开习得。可通过参考形成本公开的一部分的本说明书的其余部分和图式来实现对本公开的性质和优点的进一步理解。

附图说明

- [0053] 将参考以下图式更充分地理解所述描述,所述图式呈现为本发明的示范性实施例,且不应解释为对本发明的范围的完整叙述。
- [0054] 图1提供根据本发明的实施例的示意图,其说明并有图像传感器上方的玻璃盖的孔隙-超表面成像系统。
- [0055] 图2提供根据本发明的实施例的示意图,其说明光线跟踪图式,所述光线跟踪图式包含图1的孔隙-超表面成像系统的图像传感器平面处的主光线角。

[0056] 图3提供根据本发明的实施例的示意图,其说明具有孔隙与超表面之间的气隙的孔隙-超表面成像系统。

[0057] 图4提供根据本发明的实施例的示意图,其说明光线跟踪图式,所述光线跟踪图式包含图3的孔隙-超表面成像系统的图像传感器平面处的主光线角。

[0058] 图5提供根据本发明的实施例的示意图,其说明并有图像传感器上方的气隙和更接近物件平面的超表面层的孔隙-超表面成像系统。

[0059] 图6提供根据本发明的实施例的示意图,其说明并有图像传感器上方的气隙和更接近图像平面的超表面层的孔隙-超表面成像系统。

[0060] 图7提供根据本发明的实施例的示意图,其说明并有图像传感器上方的气隙和孔隙与超表面之间的间隔件的孔隙-超表面成像系统。

[0061] 图8A提供根据本发明的实施例的数据图,其针对孔隙-超表面成像系统展示相对照明相对于视场。

[0062] 图8B提供根据本发明的实施例的数据图,其针对孔隙-超表面成像系统展示视场相对于失真程度。

[0063] 图8C提供根据本发明的实施例的数据图,其展示孔隙-超表面成像系统的40度的视场上的模量传递函数。

[0064] 图8D提供根据本发明的实施例的使用孔隙-超表面成像系统拍摄的标准测试目标的图像。

[0065] 图9提供根据本发明的实施例的说明单个折射元件和超表面混合成像系统的示意图。

[0066] 图10A和10B提供根据本发明的实施例的说明多个折射元件和超表面混合成像系统的示意图。

[0067] 图11A提供根据本发明的实施例的图像传感器晶片的示意图。

[0068] 图11B提供根据本发明的实施例的图像传感器裸片的示意图。

[0069] 图12A提供根据本发明的实施例的间隔件晶片的示意图。

[0070] 图12B提供根据本发明的实施例的间隔件的示意图。

[0071] 图13提供根据本发明的实施例的示意图,其说明并有折射元件和超表面元件及间隔件的集成式混合成像系统。

[0072] 图14提供根据本发明的实施例的示意图,其说明并有具有超表面元件的折射元件的集成式混合成像系统。

[0073] 图15提供根据本发明的实施例的示意图,其说明用于混合折射元件和超表面成像系统的制造过程。

[0074] 图16提供根据本发明的实施例的示意图,其说明并有矩形超表面透镜元件的成像系统。

[0075] 图17A和17B提供根据本发明的实施例的示意图,其说明成像感测(图17A)和矩形超表面透镜元件(图17B)的相对尺寸。

[0076] 图18A到18D提供根据本发明的实施例的示意图,其说明单个图像传感器上的N数目个矩形透镜上的N数目个孔隙的光学系统。

具体实施方式

[0077] 现在转而参看图式,提供并有常规的光学元件和超表面元件及光源和/或检测器的混合成像系统,及制造及操作此类光学布置的方法。许多实施例涉及用于在照明源和传感器中集成孔隙与超表面元件的系统和方法。各种实施例涉及用于在照明源和传感器中集成折射光学器件与超表面元件的系统和方法。

[0078] 许多光学成像系统的实施例可并有可用于校正较大视场上的像差的单个孔隙和单个超表面层。此类单个孔隙和超表面成像系统的许多实施例被配置成在较大视场上为远心的(例如,在图像传感器平面处具有接近0度的入射角),使得在所述视场上不存在相对照明的衰减(例如,使得轴上光线的强度几乎与所述视场的边缘处的强度相同)。

[0079] 在许多实施例中,混合折射光学器件和超表面成像系统可包括超表面元件,所述超表面元件是独立的(亦即,不直接与特定照明器或传感器集成到系统中)。在一些实施例中,所述光学系统可由单个物理组件或衬底组成,所述单个物理组件或衬底在其任一侧上安置有超表面元件。在一些实施例中,多个折射光学器件可与至少一个超表面元件组合以制造更复杂的系统。

[0080] 在混合孔隙或折射光学器件及超表面成像系统的实施例中,所述超表面可安置在支撑衬底的面向孔隙或面向成像系统的表面上。在各种实施例中,气隙可安置于孔隙与超表面结构之间和/或安置于超表面衬底与成像系统之间。元件之间的气隙可进一步包括间隔件结构,以为所述元件提供支撑。

[0081] 在许多实施例中,超表面元件可为独立的或可嵌入于另一种材料内。在各种此类实施例中,嵌入材料的选择包含折射率和吸收特性的适当选择。在许多此类实施例中,嵌入材料可提供机械稳定性及保护以及额外的设计自由度,从而使得超表面能够执行所要光学功能。

[0082] 在一些实施例中,具有经定义厚度(例如,工作距离)的间隔层可沉积于CMOS图像传感器、LED、VCSEL等上,以实施适合于所要相机设计、照明器设计或最佳系统性能的光学距离。在各种此类实施例中,间隔层材料可以是有机的或无机的,且可具有低于构成超表面的介电元件的折射率。在一些此类实施例中,间隔层的厚度可被修改以为特定光学系统提供适当的光学间隔。

[0083] 各种实施例还涉及制造混合超表面成像系统的方法。在一些此类实施例中,方法涉及在并有例如传感器或照明器的其它装置的晶片上制造超表面元件,借此在一些实施例中避免昂贵的制造过程,例如小尺寸元件的机械组装或光学器件与传感器的主动对准。在一些此类实施例中,超表面元件可在半导体制造的一系列操作中与传感器(或照明器)集成。在许多此类实施例中,序列可包含:(i)传感器或照明器,(ii)任选的微透镜阵列/准直器、任选的滤波器、任选的间隔层、任选的超表面元件、任选的额外间隔层、任选的折射光学器件或孔隙元件、任选的抗反射(AR)层,任选的保护层。在许多此类实施例中,元件序列可包含:(i)传感器或照明器,(ii)任选的微透镜阵列/准直器、任选的滤波器、任选的间隔层、任选的超表面元件、任选的额外间隔层,及任选的折射元件或孔隙。

[0084] 用于实施孔隙/超表面成像系统的实施例

[0085] 通常,为了形成针对选定的视场上的像差而加以校正的光学系统,所述系统必须包括多个光学表面或多个光学元件(例如,两个或多于两个)。对于常规的折射光学系统和

超表面光学系统都是如此。具体来说,仅展现了具有两个或多于两个超表面和某一视场上的足够低的像差的光学系统。各种实施例涉及集成孔隙与单个超表面元件的成像系统,其允许组合的系统在无相对照明的衰减的情况下在较大视场上实现高质量成像、在较大视场上实现远心性(例如,图像传感器平面处的接近0度的入射)。

[0086] 具体来说,此类系统可用于例如CMOS相机的成像系统(例如用于蜂窝电话、计算机、平板计算机等中的成像系统,其用于收集可见光场景或红外中的场景的图像,以用于生物识别验证)中。这些CMOS成像系统需要增加的视场(FOV)、对CMOS图像传感器处的随场高度而变的主光线角(CRA)的独立控制,及正被成像的场景的最小光学失真。这些术语将被理解为对本领域的技术人员而言具有常规含义。对于包括折射透镜的传统成像系统,多达五个或六个独特透镜必须组合起来以执行此功能。类似地,常规的超表面成像系统实施多个超表面元件以提供足够的自由度,以充分地控制这些参数(CRA、FOV,及最小化失真)。然而,各种实施例展示,通过组合孔隙与单个超表面、组合成像系统与宽FOV,可根据实施例实现可控制的失真和可控制的CRA。

[0087] 图1到7中说明此系统的示范性实施例。如所展示,在许多此类实施例中,所述系统(10a到10d)通常包括安置成与超表面层(14a到14d)相距设定距离(13a到13d)的孔隙结构(12a到12d),所述超表面层本身与图像传感器(16a到16d)相距设定距离(15a到15d)。如将在下文更详细地描述,在此类系统中,应理解,孔隙与超表面层之间的距离及超表面层与成像系统之间的距离(例如,成像系统的后焦距)可采用气隙或光学透射材料(例如,衬底等)的形式。

[0088] 出于许多实施例的目的,孔隙结构(12a到12d)包括:第一孔隙结构部分(18a到18d),其能被所关注波长下的光透射;及第二孔隙结构部分(20a到20d),其在一定距离(d_{ap})内能完全地被所关注波长下的光透射。在各种实施例中,此类孔隙结构不赋予光学功能(例如,不使光线偏转),而是限制进入成像系统的光线束的横向范围,或以其它方式等效地设定成像系统的入口孔隙。

[0089] 出于许多实施例的目的,超表面层(14a到14e)通常包括安置在由衬底厚度(t_{sub})限定的衬底(24a到24e)上的多个纳米结构(22a到22e),所述衬底可由能被所关注波长透射的任一材料形成。在混合孔隙/超表面成像系统的许多实施例中,超表面层是所提供的唯一的功能层,其使入射光线显著偏转以形成聚焦图像(例如,超表面层用作任意相位掩模)。

[0090] 纳米结构的实施例通常包括相同或独特的三个尺寸元件(例如,正方形、圆形、三角形、椭圆形等),其具有小于指定操作带宽内的光的波长的特征大小且被配置成对被宏观距离(10或更大波长的距离)分开的复数个平面内的照射光施加相移,使得超表面层以组合方式执行单个光学功能。光学系统中的每一个别超表面可被配置成具有其实行的某一特定2D相位和透射函数 $\varphi(x,y)$ 及 $t(x,y)$ 。虽然一般来说,每一超表面可具有相位和透射的独特分布,但构成嵌入于相同材料中、具有相同的基础组成且在特定波长下的任何超表面的纳米结构元件是相同的。在大多数实际的单个波长应用中,透射率可被配置成最大化(接近1)且横跨超表面是均匀的,而相位可被配置成取在0与 2π 之间的值。总体而言,根据实施例,对于某一所关注波长、材料系统(超表面材料和嵌入材料)、固定厚度和元件间隔,构成的纳米结构的一组平面内尺寸可被配置成使得0到 2π 的相位延迟可留在入射光场上。因此,对于固定材料和波长条件下的超表面设计不同实施方案,设计间的唯一变量是横跨超表面的合

适的纳米结构元件的分布。

[0091] 根据一些实施例的超表面层可被设计成为独立的,即,超表面元件从衬底的端部突出且仅气隙使其分开,所述过程在此步骤完成。在其它实施例中,超表面可被进一步配置成具有AR涂层或机械保护。在一些此类实施例中,为了保护超表面且提供改进的功能性,超表面构成元件和衬底面可用一些材料或材料层涂布。在具有嵌入式超表面元件的实施例中,可为具有所要光学属性的任何材料的元件嵌入于较低折射率介质中。低折射率介质完全地包封超表面且在超表面元件上方延伸了某一厚度。低折射率介质充当超表面元件的防护障壁(即,提供机械稳定性),且为允许优化某些属性(例如,超表面的总透射率或效率)的系统提供额外的设计自由度。

[0092] 可使用任何合适的制造技术大批量制造根据实施例的超表面层或超表面系统,所述制造技术包含例如光刻、机械加工、蚀刻和标准CMOS制造技术,如先前已在2018年8月31日提交的美国专利申请案第16/120,174号中描述,所述美国专利申请案的公开内容以引用的方式并入本文中。超表面衬底可为任一低折射率材料,例如,聚合物、 SiO_2 、玻璃。超表面元件还可以是已针对特定带宽优化的任何材料,例如,硅、 TiO_2 、氧化铝、金属等。

[0093] 所述成像系统可采用单个单片图像传感器或像素阵列的形式。此类图像传感器和像素阵列可采用包含例如CMOS传感器的任何合适的形式。

[0094] 图1提供此类混合孔隙/超表面成像系统的各种实施例的实施方案的示意性图示。如所展示,在许多实施例中,提供能被所关注波长透射且具有厚度(t_{sub})的衬底层(24a),其具有:孔隙结构(12a),其不能被所关注波长下的光透射且在一定距离(d_{ap})内能完全被所述所关注波长下的光透射、安置在远离成像器(16a)的第一侧上;及超表面层(14a),其由具有相同高度的纳米结构(22a)构成、安置在靠近成像器(16a)的第二侧上。在此类实施例中,孔隙结构(12a)和超表面层(14a)分开由衬底厚度(t_{sub})限定的第一距离(13a)。此外,在此类实施例中,孔隙结构(12a)和超表面层(14a)可直接沉积在衬底(24a)上或经由粘着剂接合。在超表面层(14a)与成像器(16a)之间安置有限定由气隙(t_{air})形成的后焦距的距离(15a)。虽然不是必需的,但此类成像系统的许多实施例可进一步包括任意的玻璃盖或滤波器(26),其不影响所述装置的成像性能但提供其它功能性(例如,光学的或结构性的)。

[0095] 应理解,在此类实施例中,所述孔隙不赋予光学功能(不使光线偏转),而是仅限制可进入成像系统的光线束的横向范围,或等效地设定所述系统的入口孔隙或 $f/\#$ 。同时,超表面层可包括唯一的功能光学层,其在此类实施例中使光线显著地偏转以形成聚焦图像。在一些此类实施例中,超表面层可充当任意的相位掩模,其在透镜的任意径向位置处对入射光赋予0到 2π 相移的任一值。

[0096] 参考图2,提供根据图1中所说明的实施例的贯穿包括在单个衬底(24a)上组合的单个孔隙(12a)和单个超表面(14a)的系统的示范性实施例的光线跟踪图式。(尽管此处未详细地描述,但应理解,可以使用如本文中或在先前引用的美国专利申请案第16/120,174号中所描述的方法、使用例如低压化学气相沉积或原子层沉积的合适的保形沉积过程来制造这些超表面元件。)在此示范性实施例中,孔隙和超表面元件已经被配置成使得其以组合方式能够形成横跨宽FOV(在此实例中为 ± 40 度,然而,应理解,这并非限制性状况)的良好图像。已经出乎意料地发现如所展示的此单个孔隙和单个超表面系统的实施例会在图像平面处自然地产生远心的(即,具有0度CRA)的聚焦光线。简单地说,虽然传统的折射和超表面

设计需要复杂的、多元件系统以实现此类远心设计,但根据实施例,仅需要单个孔隙和单个超表面元件来实现类似的远心性。此远心性又产生改进的光学属性。具体来说,低(例如,零或接近零度的CRA)允许针对窄带应用使光学滤波器(26)的带宽变窄。在传统的折射设计中,尤其对于紧凑的移动应用,CRA通常为约15度到30度。这些较大CRA又需要显著增加滤波器带宽,从而允许更多环境光进入检测器。在窄带应用(例如,近IR VCSEL阵列)中,此类环境光可以是持久的噪声源。因此,例如图2中所展示的组合的超表面/滤波器系统的实施例允许较佳环境光性能。

[0097] 尽管图1和2为混合的孔隙/超表面成像系统提供光学元件的一个布置,但应理解,可实现元件的许多其它布置。举例来说,图3提供成像系统的实施例的示意性图示,其中已经更换气隙和衬底的位置。此结构允许形成较薄的成像系统,但需要更复杂的组装过程。具体来说,如图3中所展示,此类成像系统实施例包括衬底(24b),所述衬底能被所关注波长透射且具有所提供的厚度(t_{sub}),所述衬底具有超表面层(14b),其由安置在远离成像器(16b)的第一侧上且安置在靠近成像器(16b)的第二侧上的具有相同高度的纳米结构(22b)构成。在此类实施例中,超表面层(14b)和成像器(16b)可直接经由粘着剂或其它合适的方式接合。在超表面层(14b)与成像器(16b)之间安置有限定通过衬底厚度(t_{sub})形成的后焦距的距离(15b)。此距离用作自由参数以设计具有最佳性能的成像系统,且将基于例如成像系统的所要 $f/\#$ 或视场而改变。在此类实施例中,此类成像系统不需要在图1中所展示的实施例中用作衬底(24b)的任意的玻璃盖或滤波器提供此类双重功能性。在此类实施例中,不能被所关注波长下的光透射且在一定距离(d_{ap})内能完全被所述所关注波长下的光透射的孔隙结构(12b),及超表面层(14b)分开由气隙(t_{air})限定的第一距离(13b)。

[0098] 参考图4,提供根据图3中所说明的实施例的贯穿系统的示范性实施例的光线跟踪图式,所述系统包括单个孔隙(12b)连同在单个衬底(24b)上组合的单个超表面(14b)和成像器(16b)。(尽管此处未详细地描述,但应理解,可以使用如本文中或在先前引用的美国专利申请案第16/120,174号中所描述的方法、使用例如低压化学气相沉积或原子层沉积的合适的保形沉积过程来制造这些超表面元件。)在此示范性实施例中,孔隙和超表面元件已经被配置成使得其以组合方式能够形成横跨宽FOV(在此实例中为 ± 40 度,然而,应理解,这并非限制性状况)的良好图像。已经出乎意料地发现如所展示的此单个孔隙和单个超表面系统的实施例会在图像平面处自然地产生远心的(即,具有0度CRA)的聚焦光线。

[0099] 尽管图1和4为混合孔隙/超表面成像系统提供其中元件与图像传感器直接接触的光学元件的布置,但应理解,可实现并有安置于图像传感器与支撑超表面层的衬底之间的间隔件的元件的许多其它布置。举例来说,图5提供成像系统的实施例的示意性图示,其中第二气隙(28)安置于成像系统内。

[0100] 具体来说,如图5中所展示,此类成像系统实施例包括衬底(24c),所述衬底能被所关注波长透射且具有所提供的厚度(t_{sub}),所述衬底具有超表面层(14c),其由安置在远离成像器(16c)的第一侧上的具有相同高度的纳米结构(22c)和安置于超表面层的靠近成像器(16c)的第二侧之间的第二气隙(28)构成。并有气隙的此类实施例的一个优点为相较于例如图1中所展示的实施例,光线以较高角度穿过系统,因此允许减小超表面光学系统的总形状因数。另外,超表面衬底与图像传感器之间的间隙允许引入其它光学元件,包含例如微透镜阵列或光学彩色滤波器,以改进成像系统的光学功能。

[0101] 在此类实施例中,超表面层(14c)和成像器(16c)可直接沉积在衬底(24c)上或经由粘着剂接合。此类实施例还可包括合适的间隔件(30)以支撑衬底(24c),且维持衬底与图像传感器(16c)之间的距离。超表面层(14c)与成像器(16c)之间安置有距离(15c),所述距离限定通过衬底厚度(t_{sub})与间隔件高度(t_{spacer})的组合形成的后焦距。间隔件(30)可固定到图像传感器(16c)和衬底层(24c),从而为(t_{spacer})产生固定距离,或所述衬底可放置到标准的光学镜筒中,且(t_{spacer})可在组装后调节。此类实施例允许衬底(24c)的靠近图像传感器(16c)的表面(34)保持未经图案化,从而允许在其上直接集成任选的光学滤波器。

[0102] 尽管已经描述并有图像传感器上方的气隙的混合孔隙/超表面的配置的一个实施例,但如图6中所展示,在各种实施例中,超表面层(14d)还可安置在衬底(24d)的靠近图像传感器(16d)的表面上,所述图像传感器面向由间隔件(30')支撑的气隙(32)。此实施方案允许保护超表面元件免于环境污染。另外,此类实施例允许超表面衬底(24d)的远离图像传感器(16d)的表面(34')保持未经图案化,从未允许在衬底上直接集成任选的光学滤波器。再次,在此类实施例中,间隔件(30')可固定到图像传感器(16d)和衬底(24d),从而为(t_{spacer})产生固定距离,或衬底(24d)可放置到标准的光学镜筒中且(t_{spacer})可在组装后调节。

[0103] 因此,图5和6中所说明的实施例说明超表面元件可经布置以相对于衬底与图像传感器之间的气隙向内或向外。图5和6中所说明的超表面系统的生产可遵循例如美国专利申请案第16/120,174号中所描述的过程。间隔层可为任一低折射率材料,例如,聚合物、 SiO_2 、玻璃。

[0104] 尽管图3、5和6中展示了并有孔隙与超表面衬底之间的气隙的混合孔隙/超表面成像系统的实施例,但这些实施例将需要单独的支撑结构来固定孔隙并确保孔隙距离(t_{air})保持恒定。然而,孔隙结构(12e)还可直接附接到衬底层(24e)。图7中说明此成像系统的示范性实施例。如所展示,在此示范性实施例中,顶部孔隙(12e)具有孔隙主体(36),所述孔隙主体具有宽度 $d_{\text{ap, top}}$,所述孔隙主体设定所述系统的入口孔隙,具有与衬底偏移一定距离(t_{ap})的孔隙,且在由(t_{ap})设定的沿着光轴的距离由超表面层的宽度设定且由($d_{\text{ap, bottom}}$)给定之后相对于孔隙的宽度倾斜由成像系统的半个视场设定的最小角度。尽管图7中所展示的实施描绘其中超表面层(14e)安置在衬底(24e)的远离图像传感器(16e)的表面上,但应理解,超表面层还可安置在衬底的靠近图像传感器的表面(34'')上。另外,应理解,虽然示范性实施例并有衬底(24e)与图像传感器(16e)之间的间隔件结构(30'')和气隙,但实施例可省略此元件且将衬底直接安装在图像传感器的顶上。

[0105] 此类远心设计的实施例的属性在于超表面成像系统在图像传感器处提供较均匀的照明(由本领域技术人员称为“相对照明”)。图8A中提供根据实施例的例示性系统的相对照明的数据标绘图,且所述数据标绘图展现孔隙/超表面成像系统的相对照明横跨整个视场维持在100%,这相比于常规系统是很大的改进,所述常规系统可具有50%或更大的中心与边缘之间的差。因此,成像系统的实施例能够横跨全视场收集更多的总照明。超表面系统的实施例相对于传统的折射透镜系统还提供额外的设计变化。典型的CMOS图像传感器(CIS)需要微透镜与每一像素相关联。因为横跨折射光学系统固有的给定传感器平面的CRA存在较大变化,所以CIS上的微透镜阵列还需要复杂的CRA规范。然而,在如本文中所描述的超表面系统的实施例中,微透镜阵列的CRA可被配置成横跨CIS为恒定的0度,从而允许微透

镜阵列的设计和制造更加简单。替代地,在某些实施方案中,微透镜阵列可完全地从CIS移除,从而省去CIS生产的过程步骤。此外,具有OCRA的此类孔隙超表面系统允许限制传统成像系统中由本领域技术人员称为“像素串扰”的持久性问题。将光发送到图像传感器中的传统的折射系统易于将光耦合到相邻像素中,这会给系统增加噪声。

[0106] 常规的超表面系统可配置有多个超表面层以控制FOV和失真。相较于包括等效数目个折射元件的典型的系统,引入额外超表面元件允许实现单独的任意相位分布,提供更多的自由度以控制光线的路径。在使用单个超表面层的当前成像系统的实施例中,不可能同时控制CRA且校正网格失真。因此,一定量的网格失真是不可避免的。举例来说,图8B提供数据标绘图,其说明基于图1中展示的实施例的随成像系统的CMOS图像传感器处的场而变的失真。图8C针对如图1中所展示的成像系统的实施例展示视场上的模量传递函数的标绘图。图8D提供标准测试图像,其说明基于图8A到8C中所展示的实施例的成像系统的网格失真。如所展示,在所述视场的边缘处,质量下降。然而,本发明的实施例展示所有波长的光都紧密地成束,从而指示可简单地使用已知的图像处理软件来校正所述失真。

[0107] 实施混合折射和超表面元件的实施例

[0108] 尽管已经描述了并有孔隙和单个超表面层的实施例,但应理解,实施例还涉及并有折射透镜元件的超表面元件的混合系统。图9提供此类混合折射透镜/超表面成像系统的各种实施例的实施方案的示意性图示。在许多实施例中,混合成像表面由以下各者中的每一个中的至少一个组成:具有一个或多个曲率表面的折射透镜,及衬底上的超表面层,其中构成超表面的所有元件都具有相同高度。更一般地说,混合光学系统可包括任何数目个折射元件和多个超表面层。在某些实施例中,在作为图像传感器之前的最终组件的衬底层上具有超表面元件提供了创建所谓的图像空间远心的成像系统的特定优点。另外,其上形成有超表面层的衬底可具有一组沉积的滤波层。如在并有滤波器的实施例中所描述,超表面层更接近成像系统的物件平面,而近红外滤波器更接近图像传感器。

[0109] 图9中说明混合折射元件/超表面成像系统的示范性实施例。在许多实施例中,所述系统包含:至少一个折射光学器件(38),其安置成与衬底层(40)相距设定距离,所述衬底层能被所关注波长透射且具有厚度(t_{sub})、具有超表面层(42),所述超表面层由安置在其远离图像传感器(46)的第一表面(45)上的具有相同高度的纳米结构(44)构成;任选的光学滤波器(48),其安置在衬底的靠近成像器的第二侧(47)上。

[0110] 尽管图9中所展示的实施例说明具有单个折射光学器件和单个超表面层的混合系统,但应理解,实施例还可并有折射光学器件的其它布置。图10A和10B中提供说明此类超表面/折射混合系统的图式。具体来说,图10A说明包括两个折射元件(50及51)和一个超表面层(52)系统的混合系统,其中两个折射元件是凸凹的和凹凸的。图10B说明包括三个折射元件(54,55,56)和一个超表面元件(58)的混合系统,其中三个折射元件分别是凸凹的、双凸的和凹平的。

[0111] 关于上文所描述的混合系统中的折射光学元件,即,在超表面层之前的所述元件,应理解,这些元件的表面曲率可取任何正值、负值或无穷大的值。因此,尽管图式中展示折射元件的特定布置,但折射元件可针对特定应用采用任何合适的形式和组合,其包含例如平凸、凸平、双凸、双凹、平凹或凹平。

[0112] 实施图像传感器晶片的实施例

[0113] 所属领域中已知的成像系统通常专门地由传统折射透镜(具有至少一个弯曲表面的玻璃或塑料材料)组成。根据实施例,单个超表面层结合一个或多个弯曲的折射透镜安置。出乎意料地,已发现包含单个超表面层使光学系统为远心的。具体来说,在许多此类实施例中,在图像平面之前包含超表面元件作为最终元件使所述系统为远心的。

[0114] 超表面层的实施例可与CMOS图像传感器(CIS)集成作为玻璃盖和滤波器,而折射光学器件可在镜筒中组装,如在光学成像模块中常规地进行。在某些实施例中,其上制造有超表面层的玻璃,除了为CIS的玻璃盖之外,还可预先沉积有介电层且充当近红外带通或长通滤波器。此类实施例提供在光学成像过程中起作用的单个组件以及消除非所需的波长入射到图像传感器上。

[0115] 虽然以上实施例专注于具有单个传感器元件的混合超表面成像系统,例如,如图1到10B中所展示,但超表面元件还可与含有多个图像传感器裸片的图像传感器晶片集成。图11A中展示说明图像传感器晶片的示意图的图式。如所展示,实施例可包括图像传感器晶片(60),其包括一组图像传感器裸片(62),虽然这在周期性地间隔开的2D阵列中展示,但应理解,所述阵列无需周期性地间隔开。如图11B中所展示,每一传感器裸片(62)又包括图像传感器有源区域(64)。尽管每一图像传感器可为相同的,但在许多实施例中,每一传感器的特性通常可为唯一的。因为构成阵列的每一成像器可具有独特属性,所以具有超表面元件的阵列也可为有利的,所述超表面元件各自具有独特设计的属性。

[0116] 应理解,仅有源区域(64)需要可用于成像。图像传感器有源区域(66)外部的区可用于附接透镜或间隔件。此外,在各种实施例中,超表面衬底可通过间隔件从图像阵列偏移。图12A和12B中分别地说明间隔件晶片(70)的示范性实施例,所述间隔件晶片包括:多个间隔件开口,其适于附接到传感器晶片;和间隔件裸片(72),其适于附接到图像传感器或透镜裸片。间隔层的设计和厚度将取决于特定配置,但在许多实施例中,所述厚度被配置成允许来自照明源的光在与图像传感器互动之前充分地发散。再次,所述阵列中的每一超表面元件的功能通常可为唯一的,且可利用例如在美国专利申请案第16/120,174号中概述的任何合适的技术而经图案化在所述阵列中的每一个别图像传感器的顶部上。举例来说,超表面可直接在所述阵列中的每一个别图像传感器上制造,或合适的介电间隔件可沉积于图像传感器上,接着将超表面集成在经组合介电层和图像传感器的顶部上。在此类实施例中,所述超表面可为每一图像传感器提供特定辐射方向图,且整个系统(图像传感器属性、几何参数和超表面启用的辐射方向图)可针对一组特定的性能参数反复地被优化。

[0117] 在各种其它实施例中,折射率小于图像传感器构成材料的折射率的介电材料可经沉积且平坦化,使得单个超表面可经图案化在介电材料的顶部上。这与其中阵列中的每一图像传感器具有在其琢面上图案化的独特的超表面的实施例形成对比。再次,在此类实施例中,经组合系统可被优化以实现所要性能。最终,在所有以上实施例中,可使用晶片级光学工艺来实现超表面与图像传感器阵列的集成。在此类实施例中,间隔层可以是空气而非固体介电质,图13和14中展示此类装置的示范性实施例的说明。

[0118] 具体来说,图13展示包括被间隔件(78)分开的图像传感器裸片(74)和透镜裸片(76)的实施例的示意图。在此类实施例中,间隔件(78)控制超表面区域(80)与图像传感器有源区域(82)之间的距离。此类实施例中的间隔件可附接到图像传感器裸片或图像传感器晶片,接着所述透镜可附接到间隔件。替代地,所述间隔件首先可附接到透镜,接着所述传

感器附接到间隔件。在此类实施例中,所述间隔件可使用粘着剂(例如,UV固化的环氧树脂或热固化环氧树脂)、焊料或熔融结合而附接。

[0119] 图14说明不包含间隔件的示范性实施例。在此类实施例中,透镜裸片(84)的厚度确定图像传感器有源区域(86)与超表面区域(88)之间的距离。图像传感器裸片(90)和透镜裸片(84)可直接使用粘着剂、焊料、熔融结合、凸块结合等来附接。替代地,图像传感器晶片和透镜晶片可如先前所描述直接在晶片级附接。

[0120] 如图15中所展示,在某些实施例中,混合系统的折射透镜(91)可首先在镜筒(92)中组装,如所属领域中已经已知的。超表面元件(94)接着可与CMOS图像传感器元件(96)组合,如上文关于以上图13和14所描述。这两个子组件接着组装在一起以形成最终系统。在此类实施例中,折射透镜可被配置成旋拧到外壳(98)中,使得可调节折射元件与超表面之间的距离(t_{gap})。

[0121] 实施例实施

[0122] 如所属领域中众所周知,由圆形、径向对称透镜或圆形、径向对称透镜的系统形成的场景的图像也将是圆形的。因此,所形成图像的几何形状通常被称为透镜的图像圈。然而,在现代摄影中,记录图像的媒体(例如,CMOS图像传感器)通常具有矩形形状。在相机设计中,透镜的图像圈被设计成使得图像圈的直径 D_{image} 至少与图像传感器的对角线 d 一样大。然而,由于图像传感器是矩形的,因此仅图像圈的一部分落在图像传感器上。因此,来自场景的光入射到的大部分透镜区域不用于来自相机系统的图像的最终形成。

[0123] 在传统的射出模制塑料折射透镜中,透镜的形状保持理想的圆形。使用圆形形状是因为从制造的角度来看,圆形形状和径向对称的透镜在生产中是最容易实现的且最可重复的。此外,制造具有较大面积的圆形透镜而非具有较小面积的矩形透镜的成本增加最小。因此,常规的相机使用圆形透镜,且仅照射在整个圆形透镜上的光的一部分由矩形图像传感器收集。光入射但不促成光落在图像传感器上的圆形透镜的这些部分不用于最终的图像形成中。

[0124] 对于根据各种实施例的超表面透镜,透镜的形状可经工程设计使得其形成的图像与特定图像传感器尺寸唯一地匹配。相比于常规的折射透镜,在许多此类实施例中,透镜形状被配置成不再是圆形的且所述透镜被配置成不再形成图像圈。在各种实施例中,超表面透镜以具有特定尺寸的矩形配置形成,且因此所形成的场景图像也是矩形的。在此设计实施例的理想状况下,照射在矩形超表面透镜上的所有光都落在图像传感器上。具有矩形透镜的超表面的实施例打破了径向对称性,且因此透镜形成的图像不再是圆形的或是径向对称。

[0125] 因此,在透镜系统的许多实施例中,超表面透镜元件可以矩形配置形成。此类矩形或非圆形透镜的优点包含:限制透镜的总面积、消除透镜的原本会受到光照射而随后不在图像传感器上形成图像的部分,及简化透镜晶片的后处理。此处描述矩形超表面透镜和成像系统的特定实施例。

[0126] 具有非圆形配置的超表面透镜系统的许多实施例具有以下共性:作为透镜系统的光阑的入口孔隙,和作为图像传感器平面之前的最终的有源光学表面的超表面透镜。在此类实施例中,入口孔隙(和光阑)的横截面可以是圆形的,就像在传统的光学系统中一样,而超表面透镜可被图案化为矩形或其它任意的形状。

[0127] 图16提供通光孔隙超表面的示范性实施例的说明,其中成像系统(100)包括:矩形图像传感器(102),其从单个矩形超表面(104)偏移;及圆形入口孔隙(106),其从矩形超表面透镜(104)偏移。在实施混合超表面折射系统的实施例中,光学系统包括入口孔隙、至少一个折射透镜和超表面透镜,所述超表面透镜是所述系统中在图像传感器之前的最后一个光学透镜元件。在此类混合系统的这些实施例中,入口孔隙和至少一个折射透镜仍可具有圆形或径向对称的横截面。因此,此类混合系统的实施例将包括从至少一个圆形折射透镜(未展示)偏移的圆形孔隙(106),所述至少一个圆形折射透镜接着从矩形超表面透镜(104)偏移,如图16中所展示。同样,在此类实施例中,超表面透镜具有被配置成匹配特定图像传感器的矩形尺寸。尽管此处的实例描述其中仅超表面透镜元件具有矩形横截面的实施方案,但这无需为限制性状况。举例来说,入口孔隙(及光学系统的光阑)还可为矩形或至少一个折射透镜还可为矩形,只要作为图像传感器之前的最后一个透镜元件的至少超表面透镜元件具有矩形横截面即可。

[0128] 在某些状况下,所述系统中的矩形透镜的尺寸可完全通过所述系统中的图像传感器的尺寸和透镜的规格来表征。具体来说,如图17A中所展示,图像传感器分别由其竖直尺寸 v 和水平尺寸 h 来表征。透镜系统最常见是由透镜的 f 数 N 来表征, N 被定义为 $N=f/D$,其中 f 是光学系统的焦距且 D 是所述透镜的直径。因此,如图17B中所展示,所要矩形超透镜宽度可被展示为 $w=v+f/N$,且所述长度可被展示为 $l=h+f/N$ 。透镜尺寸的此类定义将产生几乎完美地填充传感器几何形状的图像。在实践中,由成像系统形成的图像需要稍微大于图像传感器尺寸。图像的此过大尺寸允许在透镜系统的最终组装中具有更大的容差。典型的过大尺寸范围可采用如上文给定的标称矩形透镜尺寸,且使每一尺寸增加40微米。

[0129] 虽然以上实例指定了与矩形透镜联接的单个圆形孔隙,但在其它实施例中,还可提供单个图像传感器上的 N 数目个矩形透镜上具有 N 数目个孔隙的光学系统。举例来说,圆形孔隙和矩形超表面透镜可在单个图像传感器上以 2×2 网格排列。图18A到18B中展示此系统的实例。图18A展示单个图像传感器裸片(110),单个间隔件(112)可如图18B中所展示围绕所述单个图像传感器裸片放置。所述间隔件设定图18C中所展示的矩形超表面(114)与图像传感器(110)之间的距离。所述组合件中的最终元件含有一组圆形孔隙(116),其与额外间隔层(118)相关联地安置,以设定矩形超表面与圆形孔隙之间的距离。图18D中展示整个组合件的剖视图。

[0130] 尽管图18A到图18D举例说明矩形超表面上的圆形孔隙的 2×2 阵列,但一般来说,圆形孔隙和矩形超表面透镜的网格可以任何方式(对称或不对称,例如, 3×3 或 5×2)排列。另外,构成所述系统的每一个别矩形超表面和圆形孔隙相对于所述系统中的其它孔隙超表面对具有独特尺寸。举例来说,所述阵列中的每一孔隙直径通常可以是唯一的,或每一矩形透镜可以是唯一的。然而,超表面透镜与图像传感器之间及超表面透镜与圆形孔隙之间的距离对于整个系统来说通常是固定的。改变所述阵列的每一个别组件的机械参数,例如孔隙大小,允许所述阵列中的每一相机的光学属性是独特的。举例来说,根据实施例,每一子相机可具有唯一的 $f/\#$ 、视场、分辨率等。

[0131] 等同原则

[0132] 因此,尽管已经在某些特定方面描述了本发明,但许多额外修改和变化对于本领域的技术人员将是显而易见的。因此,应理解,本发明可以不同于具体所描述的方式来实

施。因此,本发明的实施例应在所有方面中视为说明性的而不是限制性的。

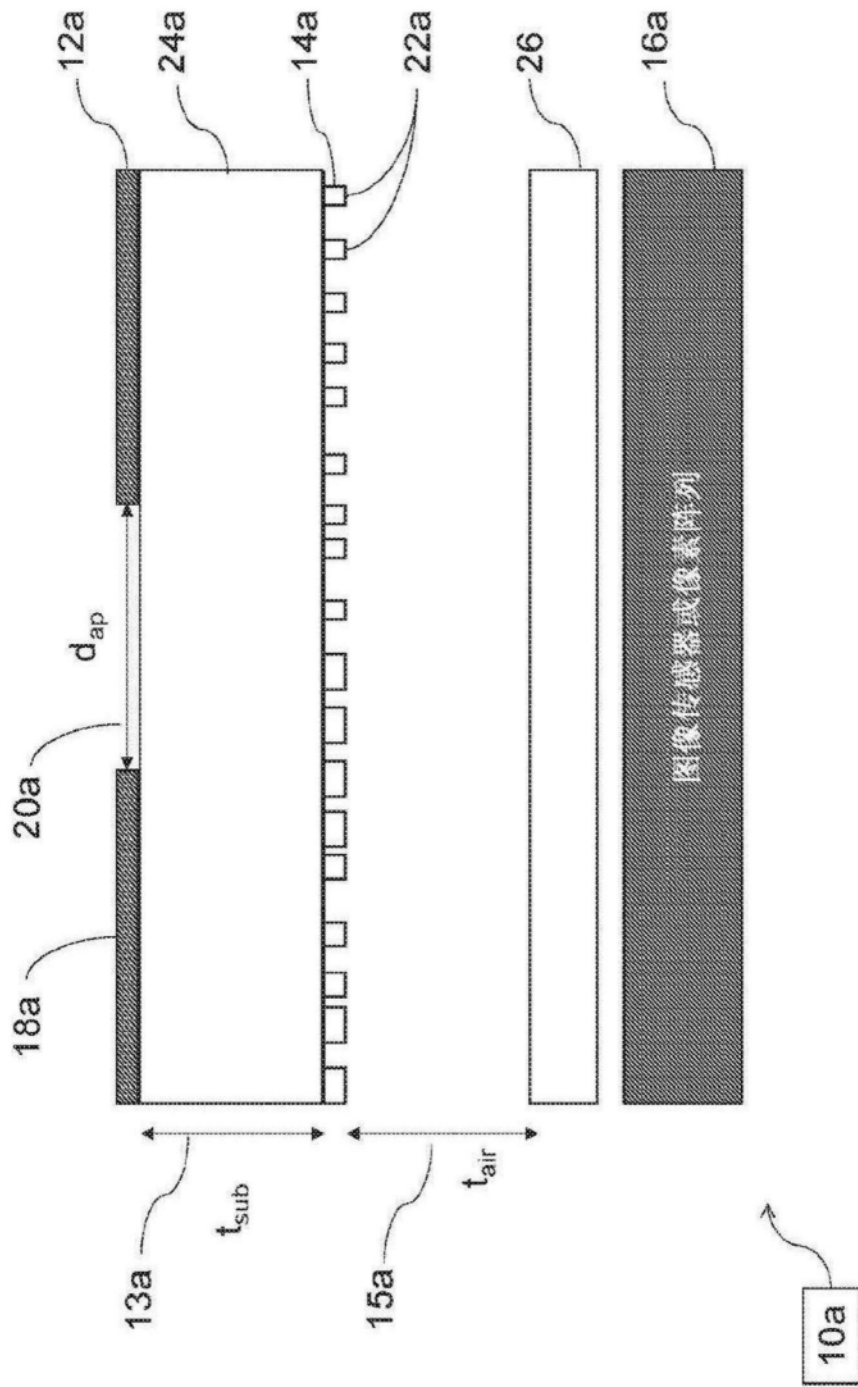


图1

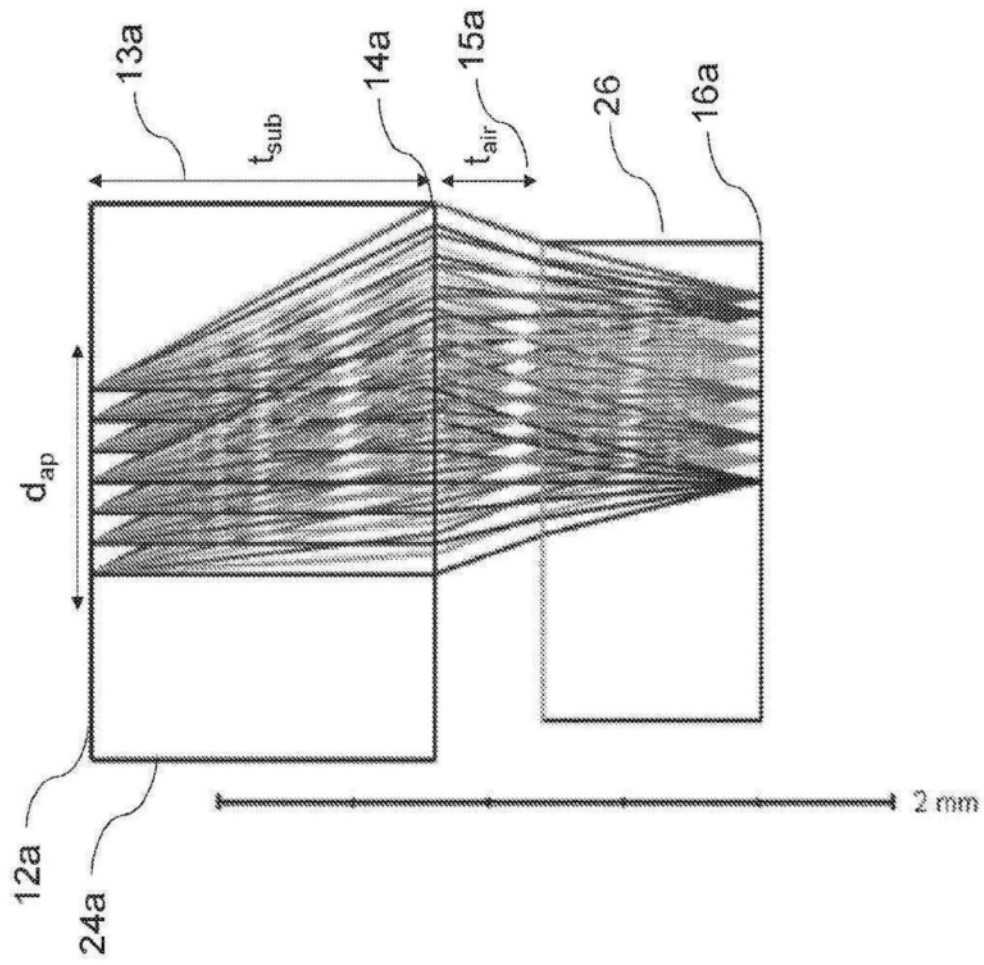


图2

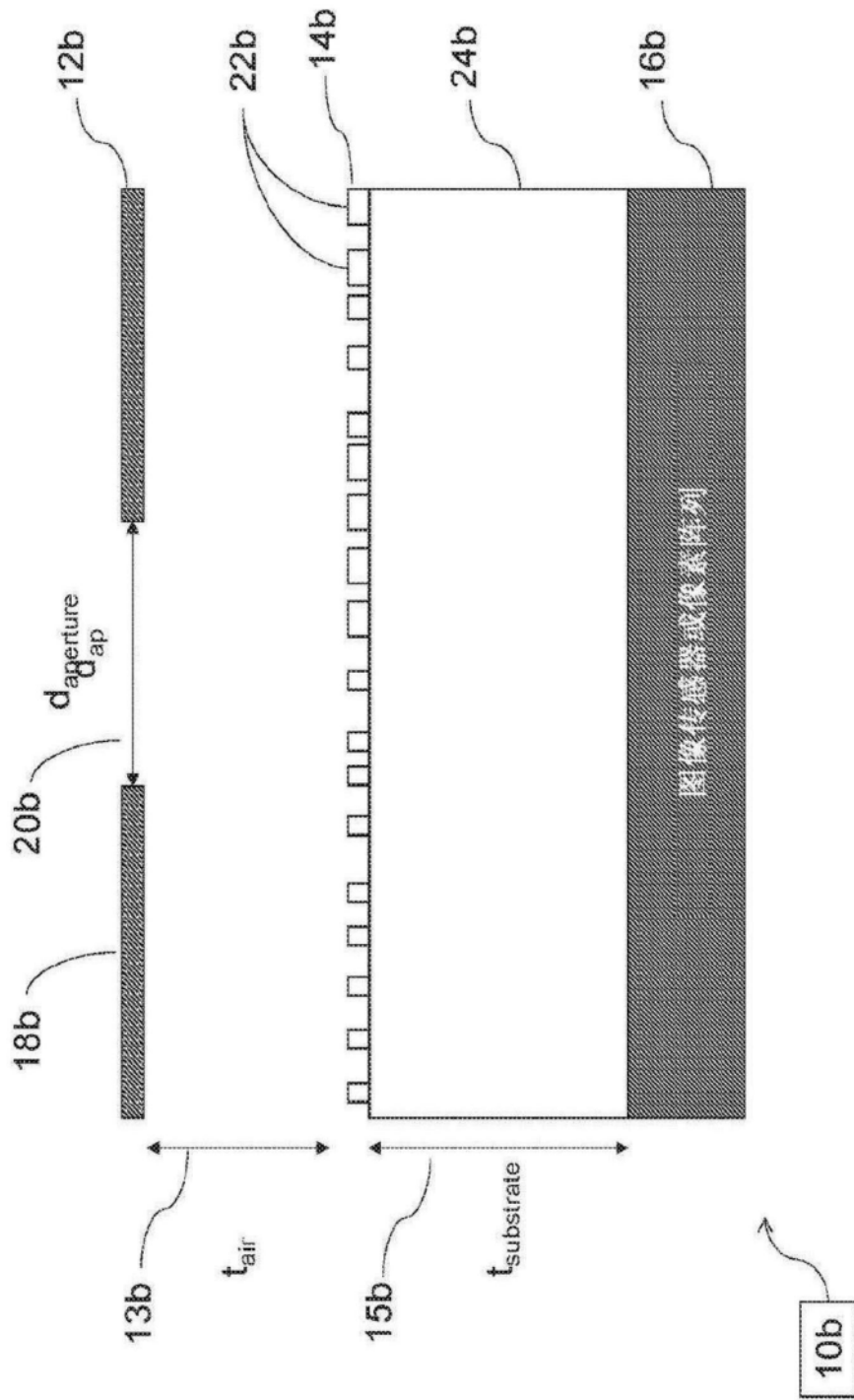


图3

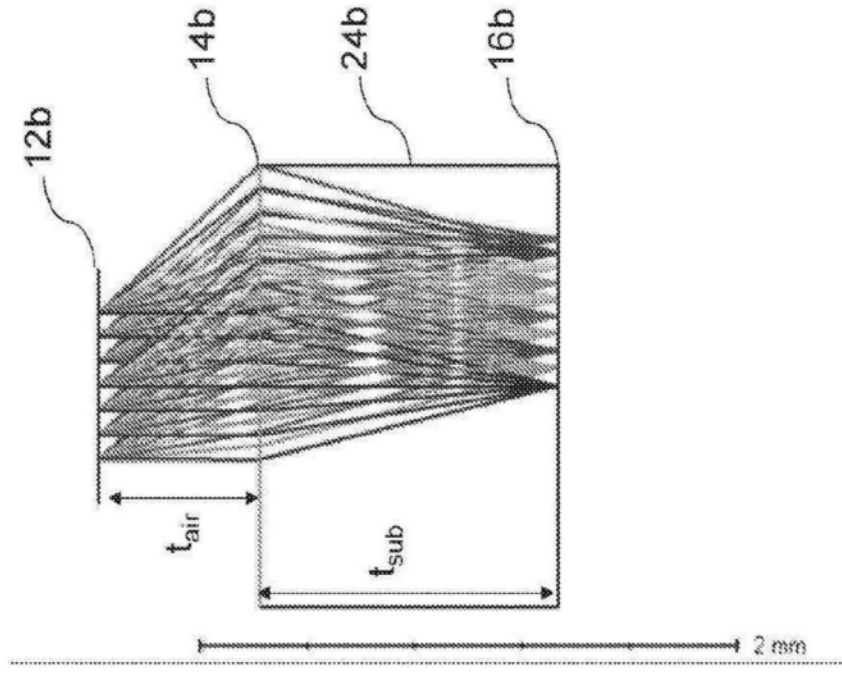


图4

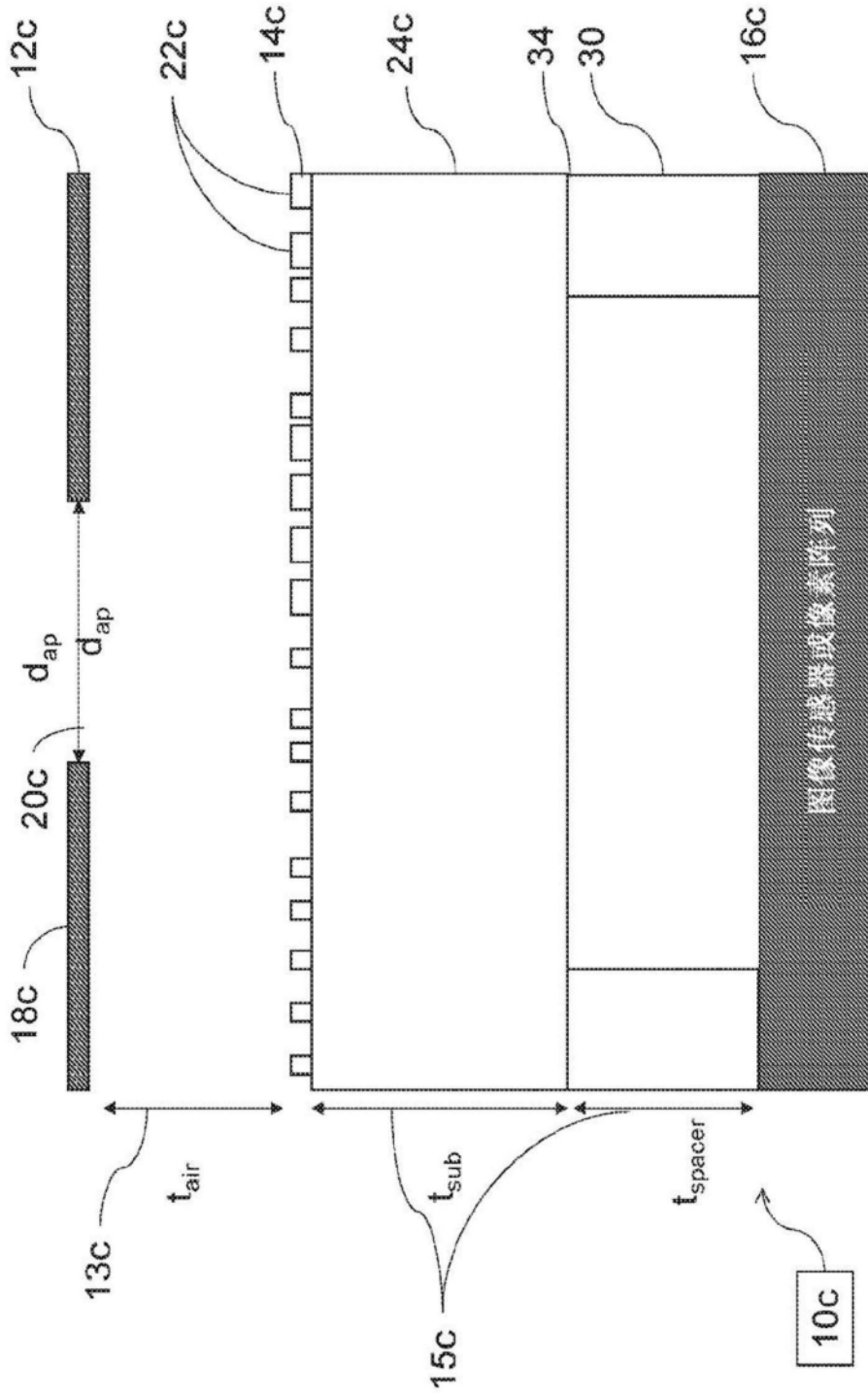


图5

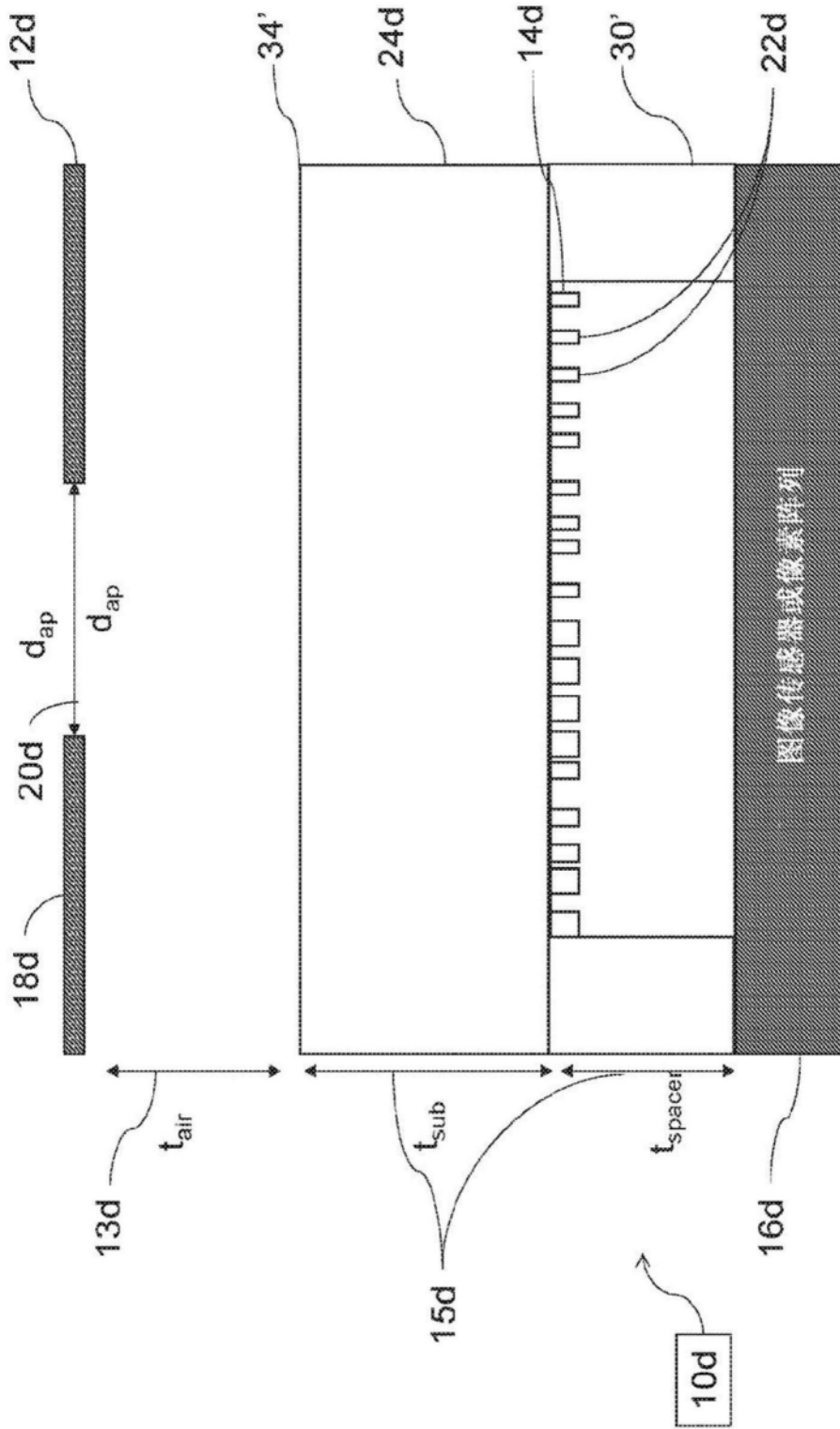


图6

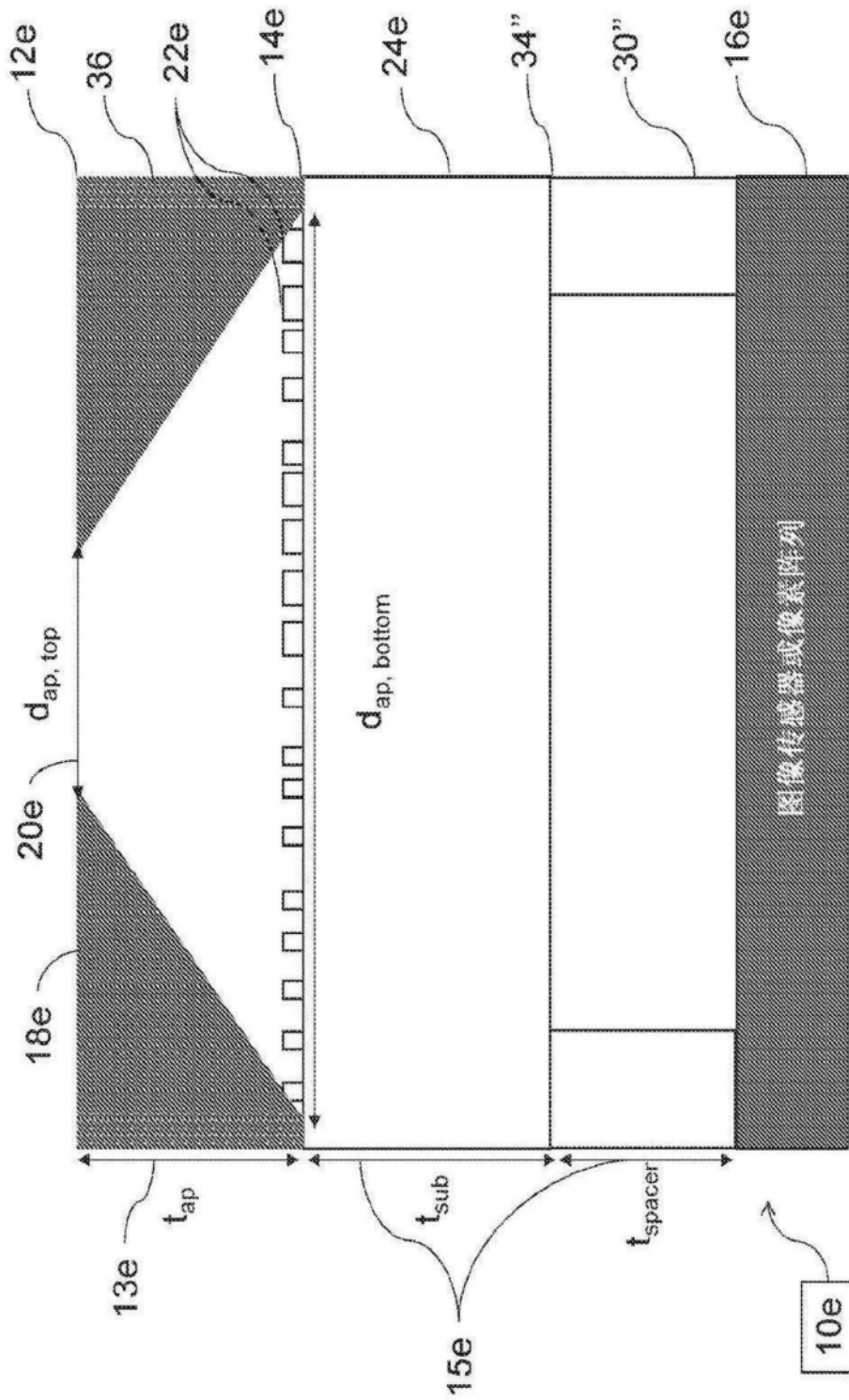


图7

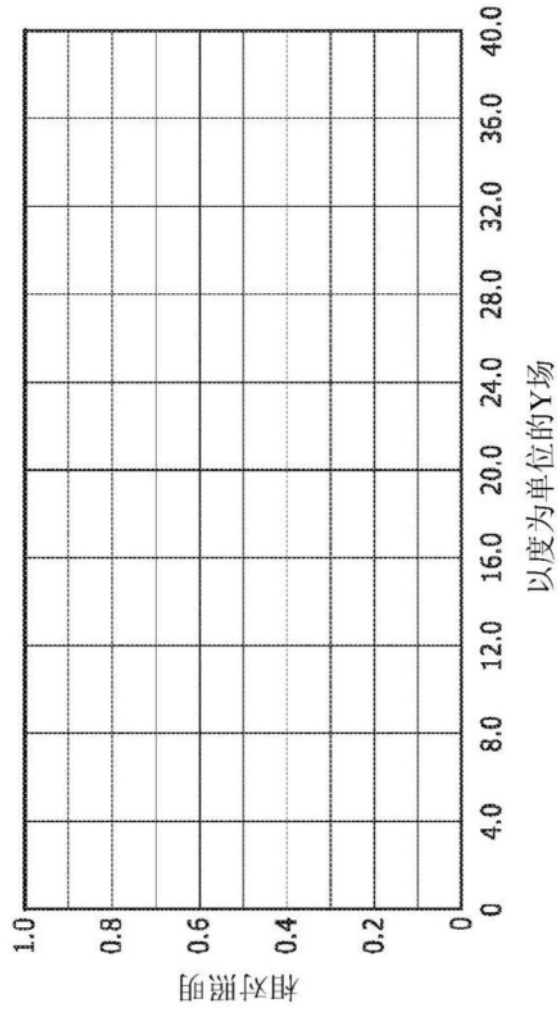


图8A

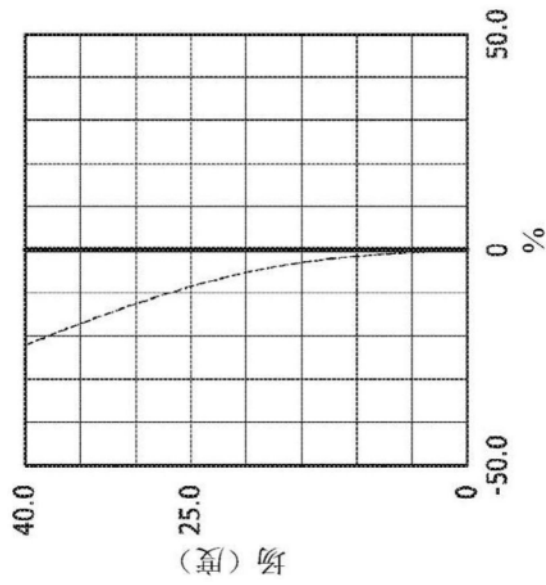


图8B

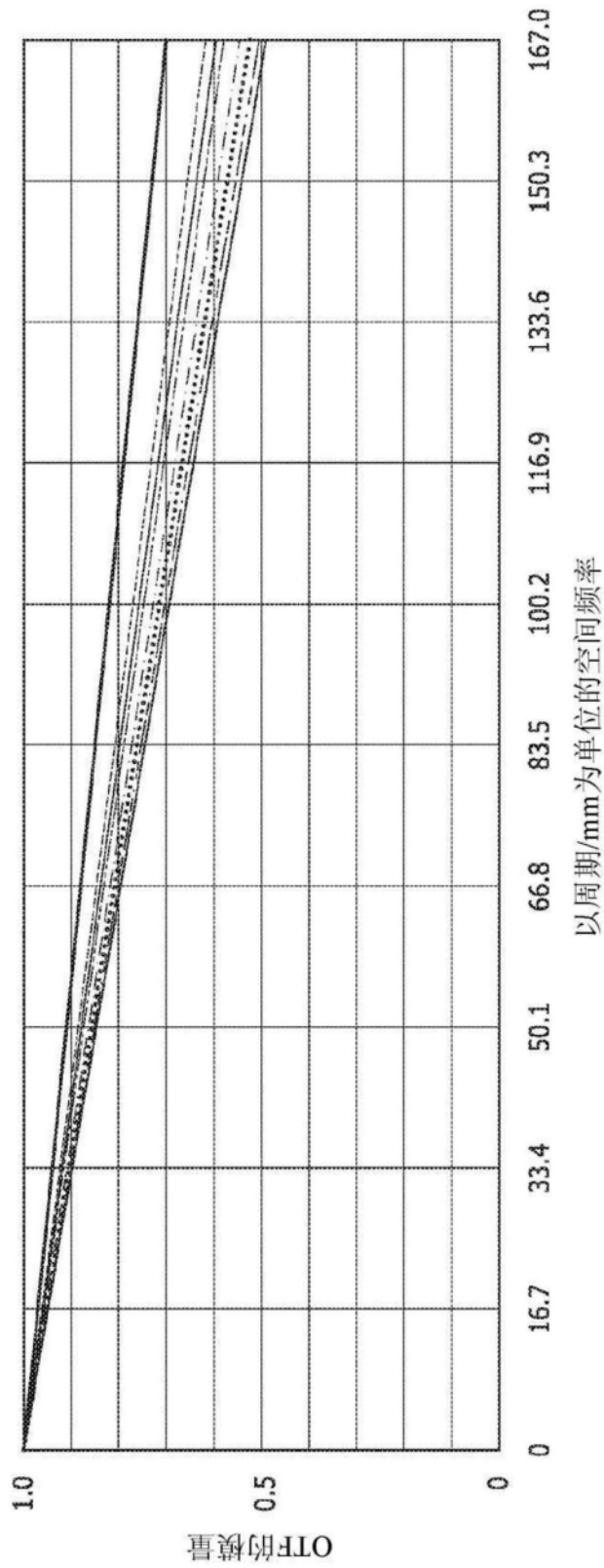


图8C

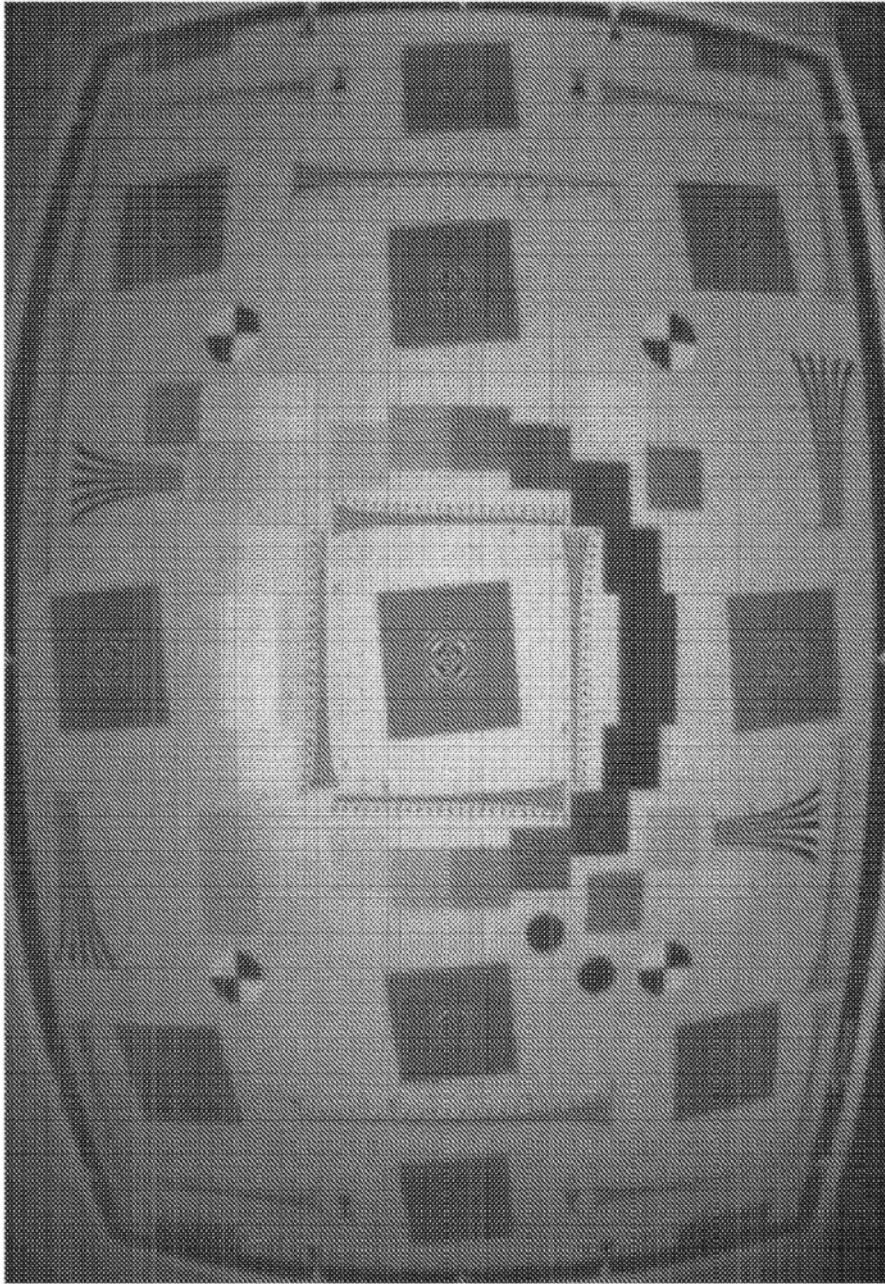


图8D

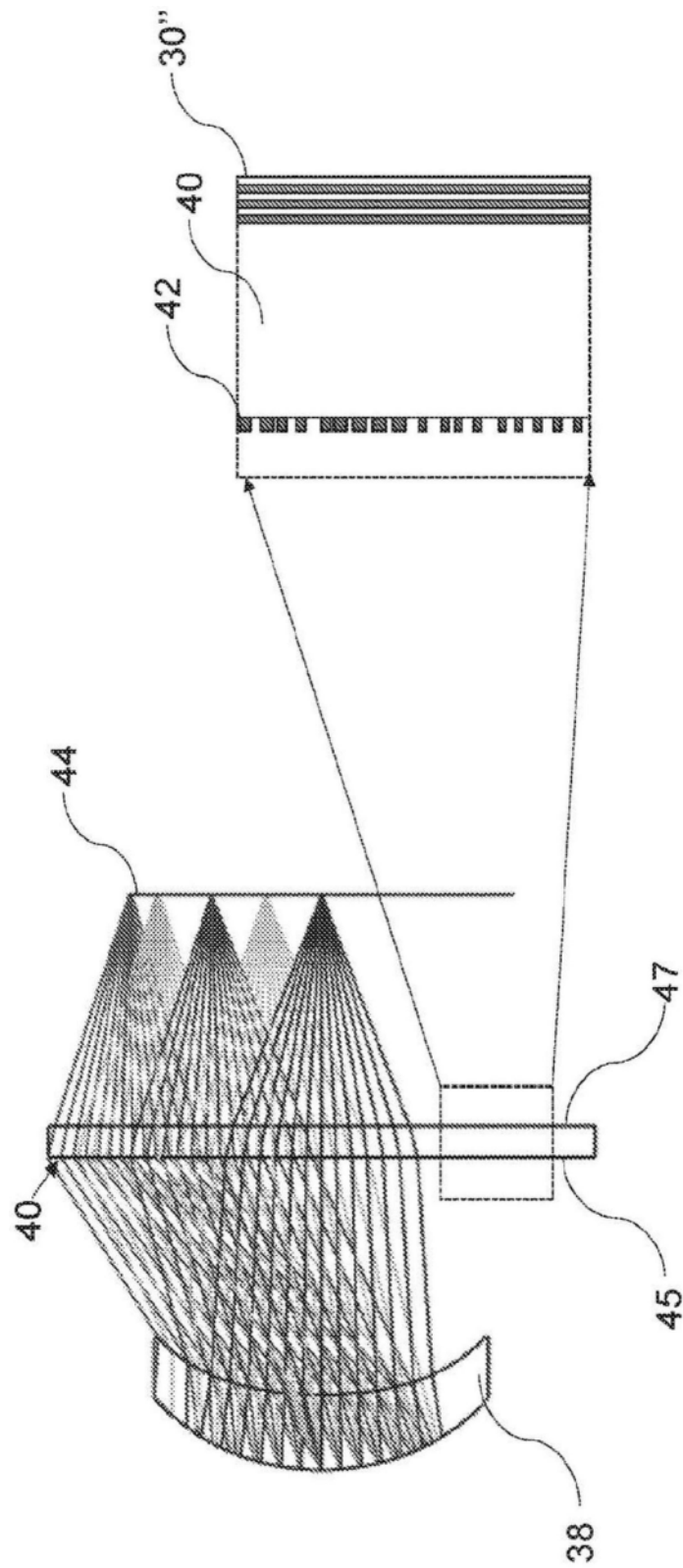


图9

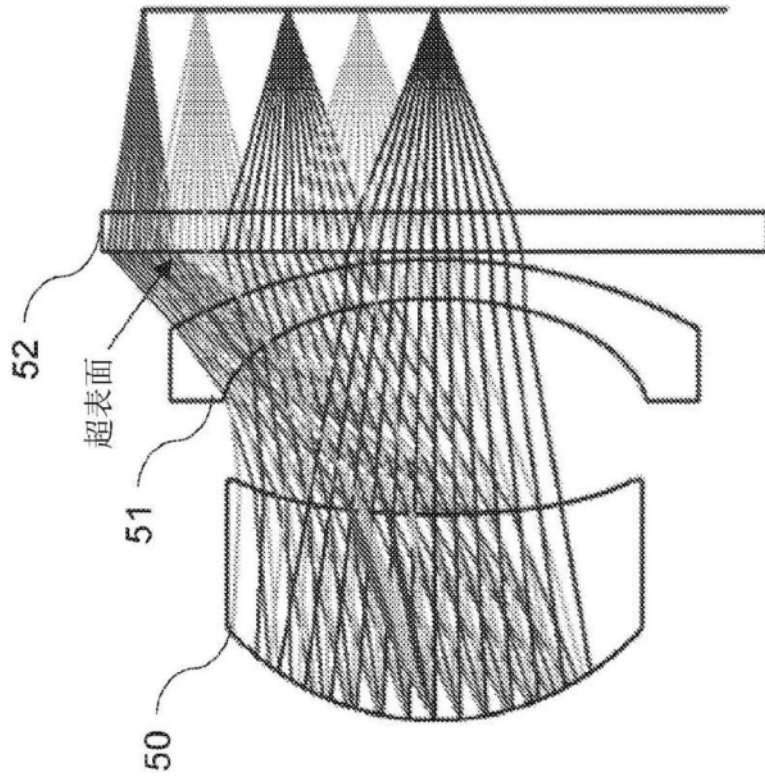


图10A

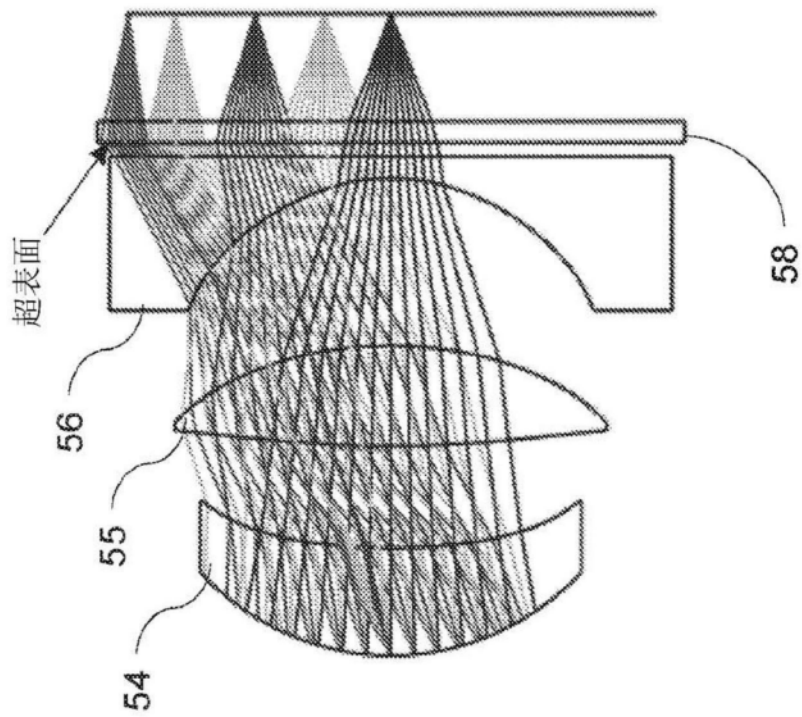


图10B

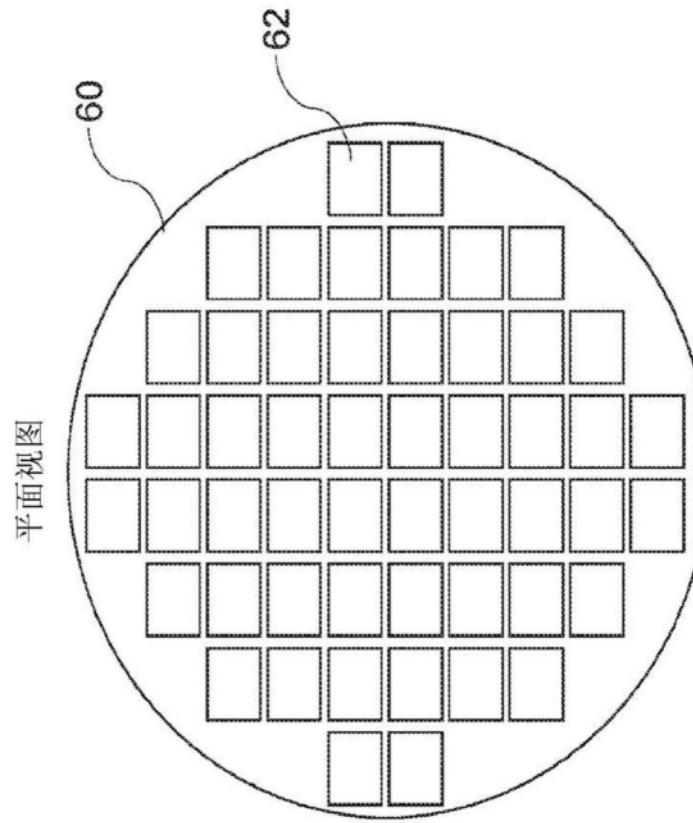


图11A

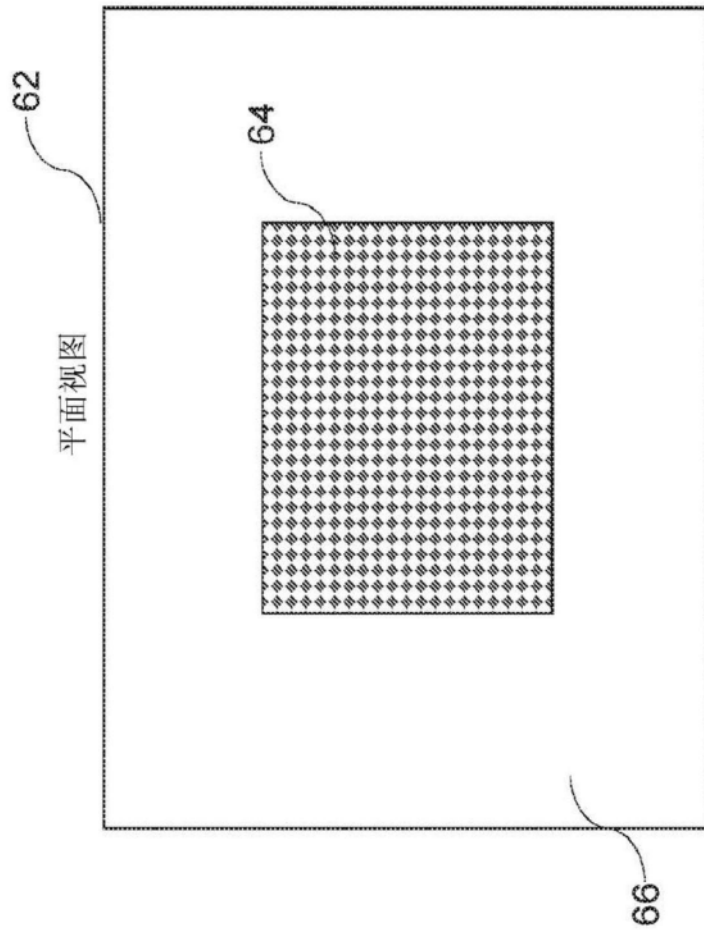


图11B

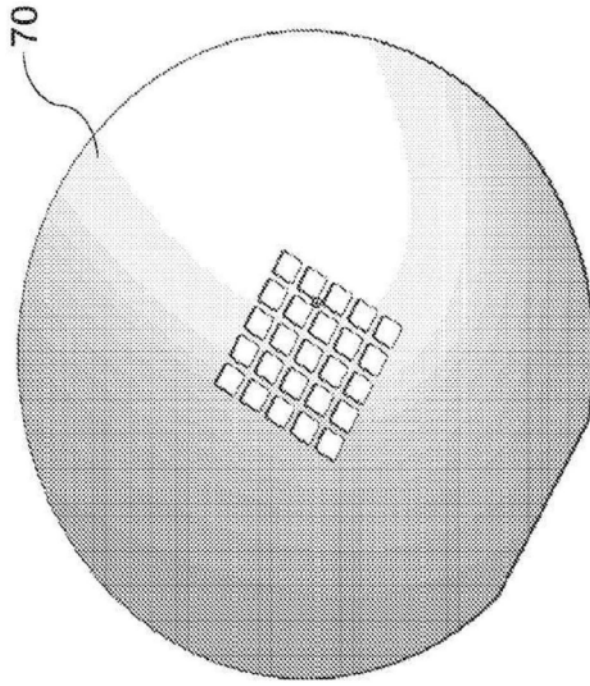


图12A

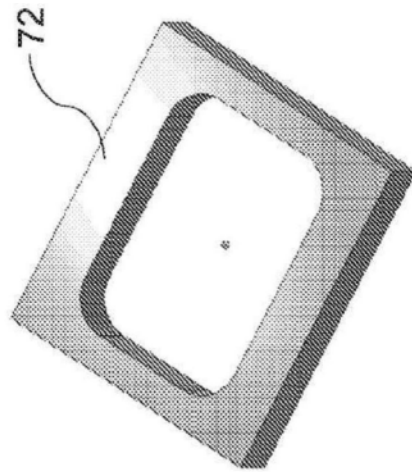


图12B

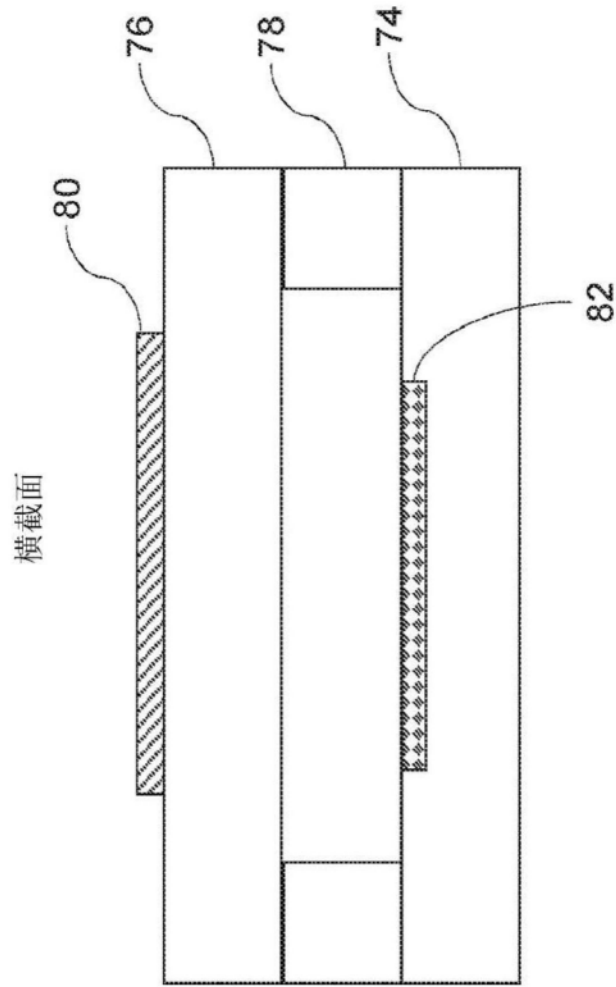


图13

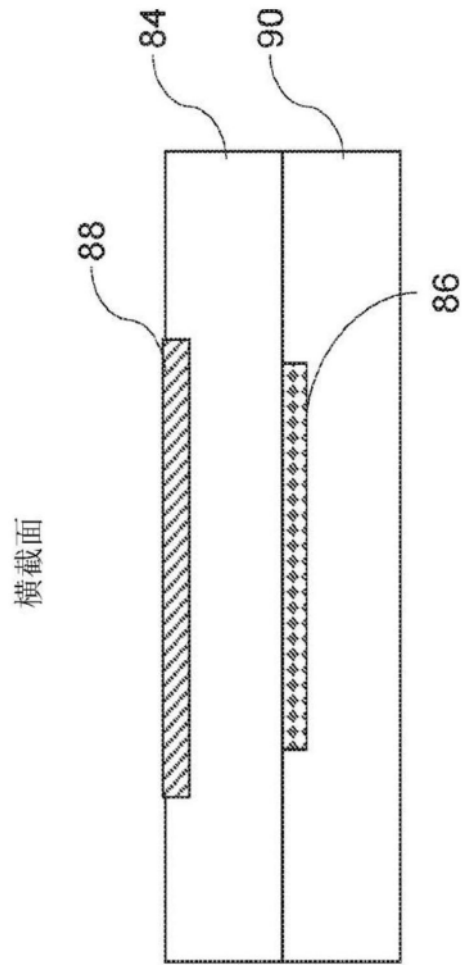


图14

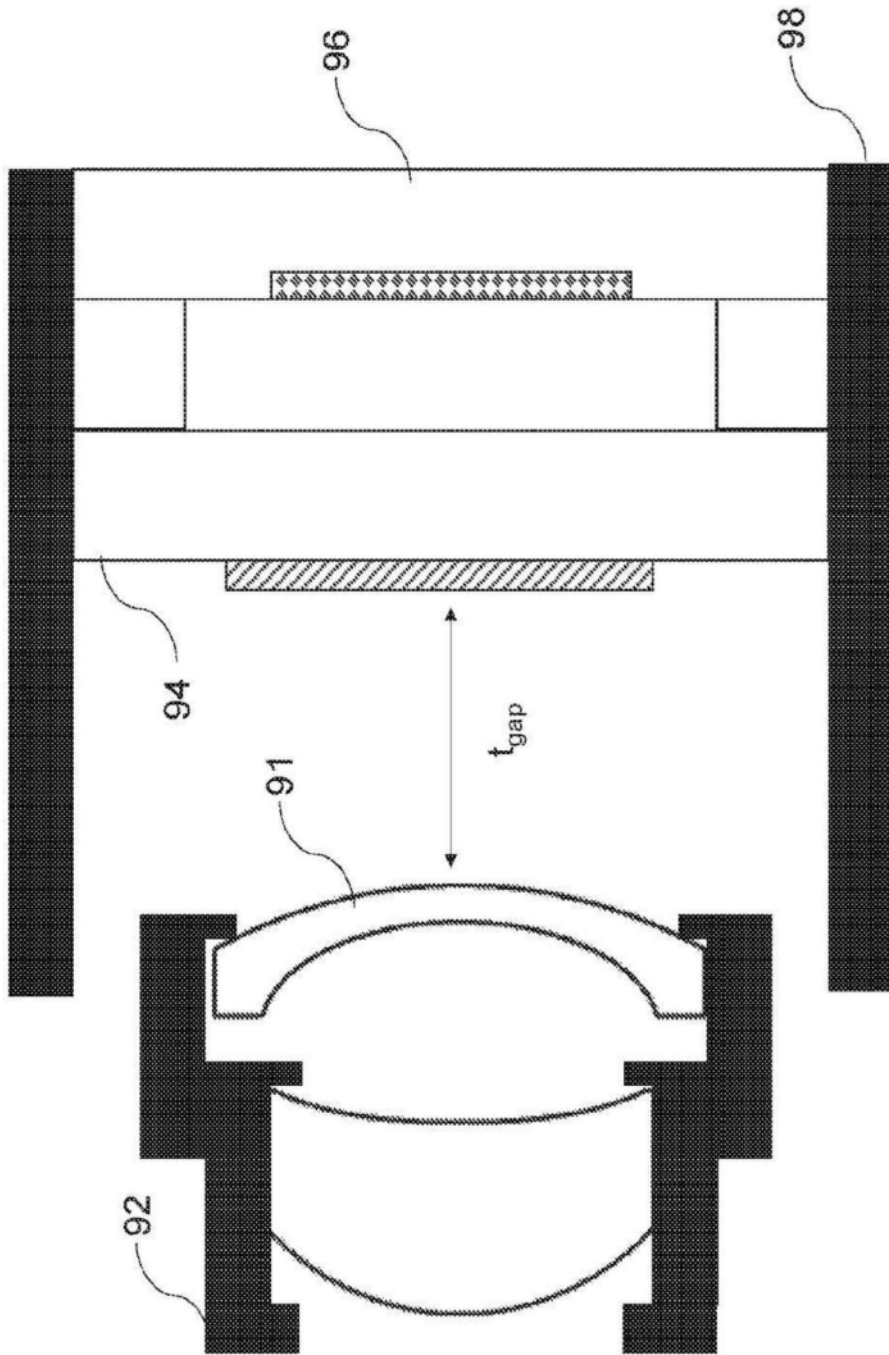


图15

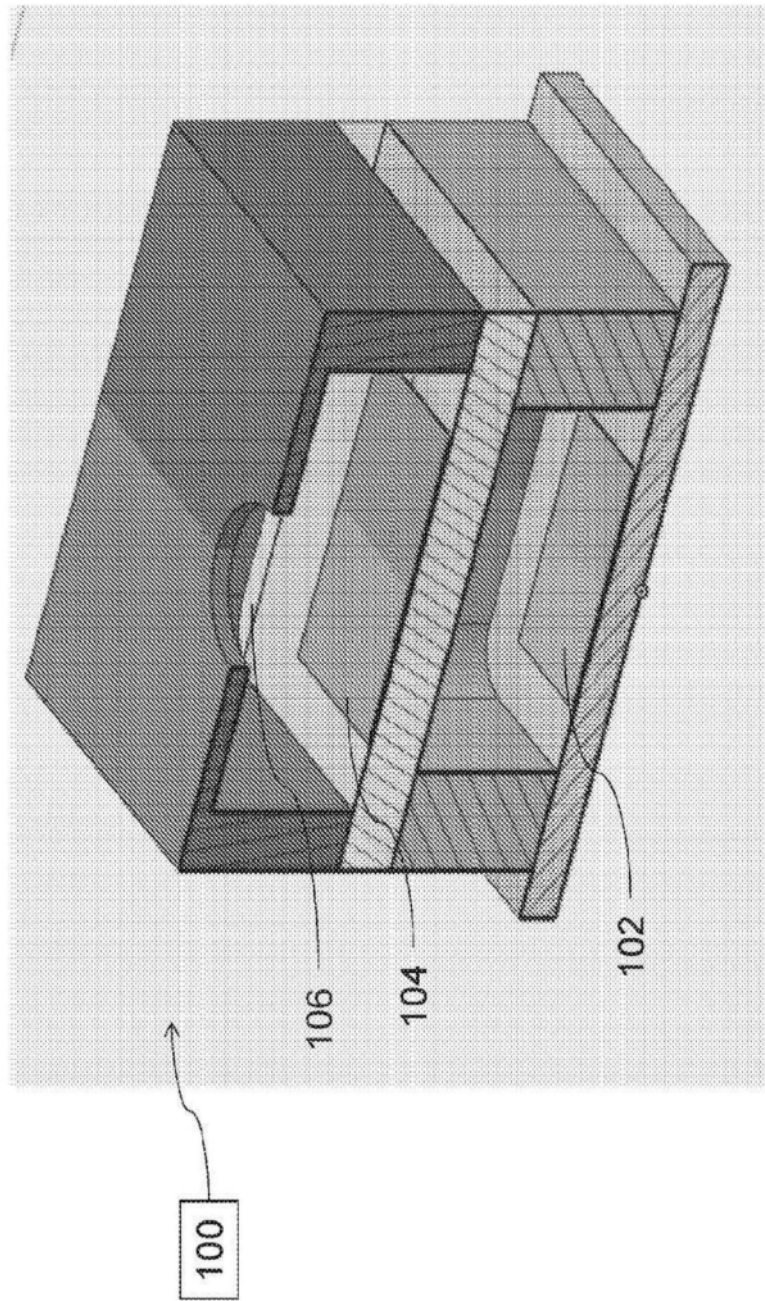


图16

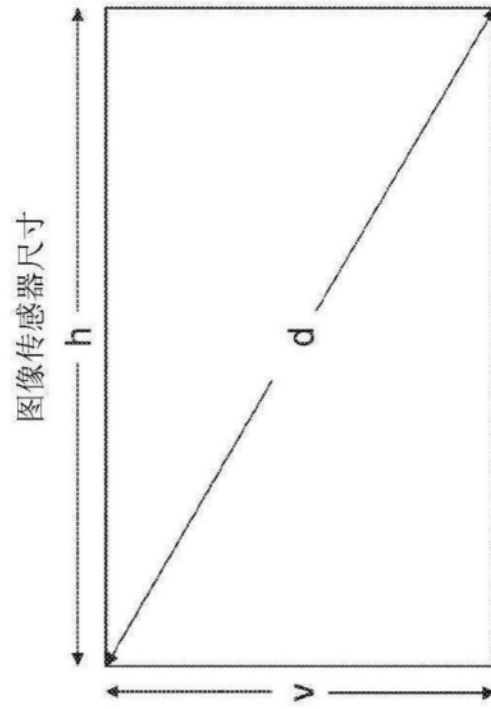


图17A

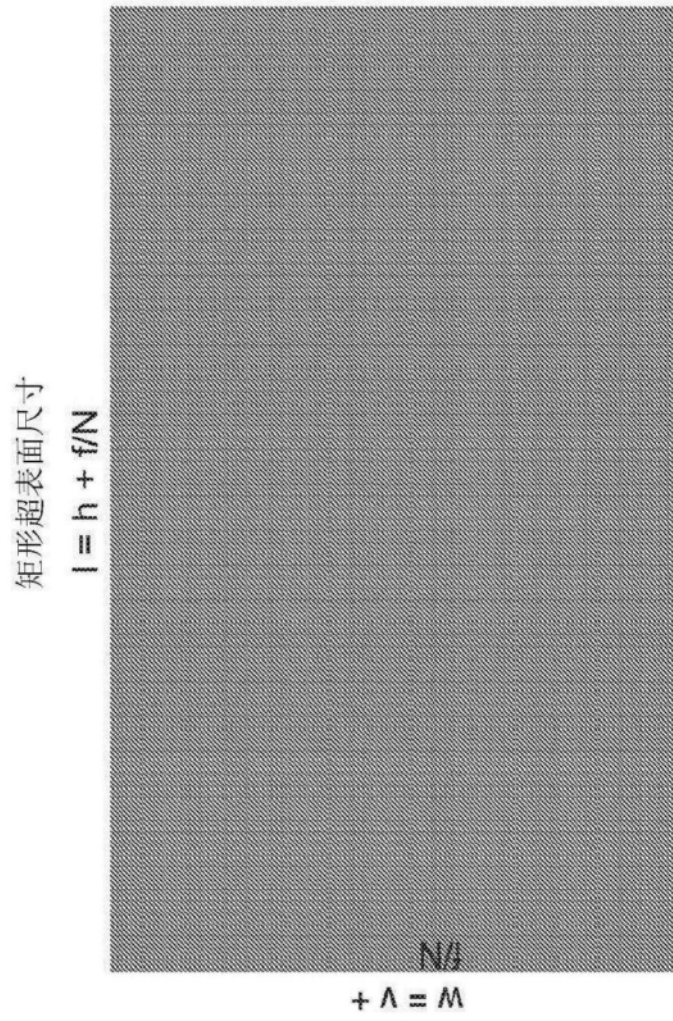


图17B

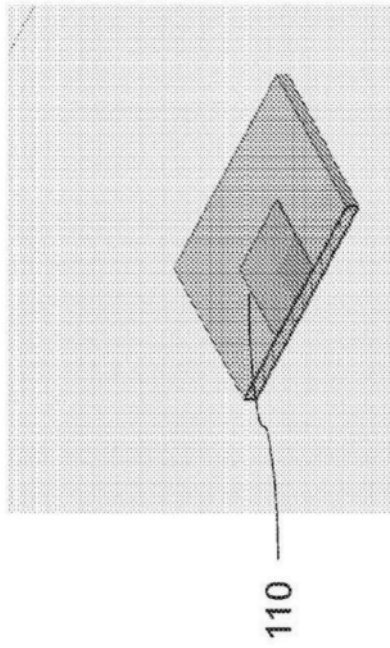


图18A

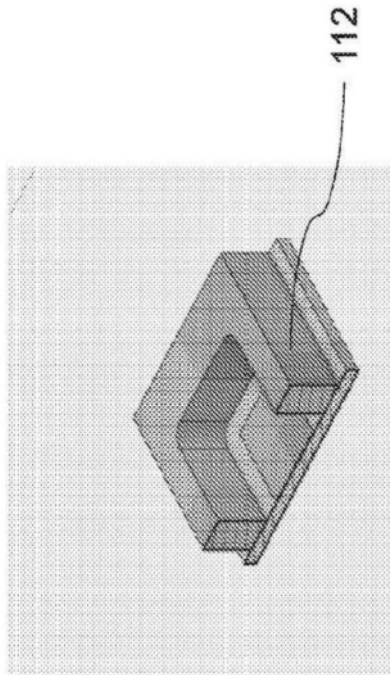


图18B

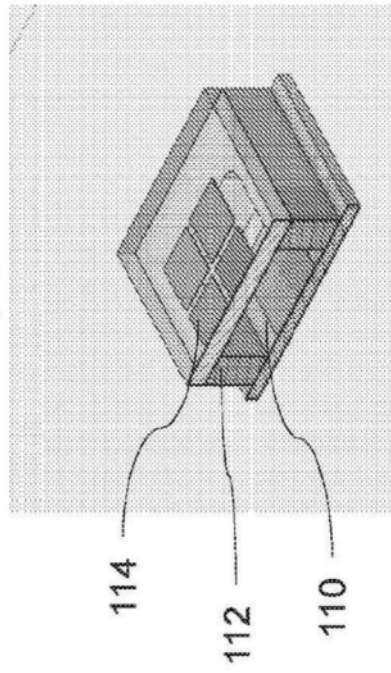


图18C

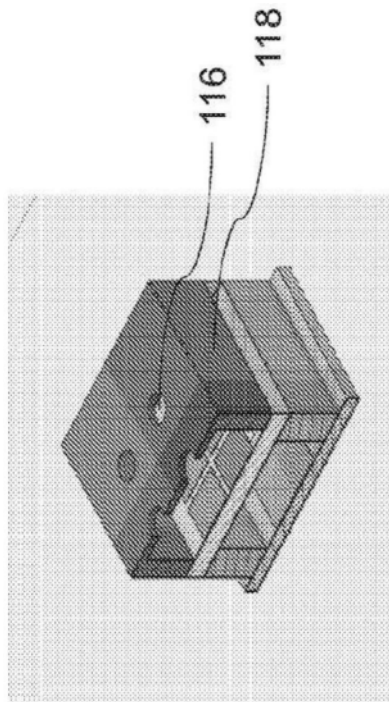


图18D