



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113733552 B

(45) 授权公告日 2025. 05. 13

(21) 申请号 202110809153.0

B29C 64/277 (2017.01)

(22) 申请日 2021.07.16

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 40/00 (2020.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113733552 A

(56) 对比文件

CN 215849653 U, 2022.02.18

(43) 申请公布日 2021.12.03

审查员 王衍强

(73) 专利权人 广东工业大学

地址 510090 广东省广州市越秀区东风东路729号

(72) 发明人 潘浩贤 周金运 王博 温坤华

雷亮 蒙自明

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司

44102

专利代理师 林丽明

(51) Int. Cl.

B29C 64/129 (2017.01)

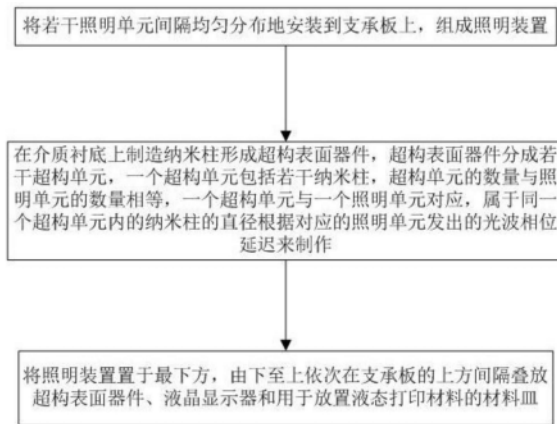
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种光固化3D打印技术的匀光照明系统及其设计方法

(57) 摘要

本发明涉及3D打印技术领域,公开一种光固化3D打印技术的匀光照明系统及其设计方法,将若干照明单元间隔均匀分布地安装到支承板上;在介质衬底上制造纳米柱形成超构表面器件,超构表面器件分成若干超构单元,一个超构单元包括若干纳米柱,超构单元的数量与照明单元的数量相等,一个超构单元与一个照明单元对应,属于同一个超构单元内的纳米柱的直径根据对应的照明单元发出的光波相位延迟来制作;将支承板置于最下方,由下至上依次在其上方间隔叠放超构表面器件、液晶显示器和用于放置液态打印材料材料皿。本发明可有效且灵活地调控电磁波的振幅、相位和偏振,具有很好的匀光效果,保证光照度,提高效率 and 打印产品的精度、边缘轮廓的锐利度。



1. 一种光固化3D打印技术的匀光照明系统,其特征在于,包括由下至上依次间隔设置的照明装置(100)、超构表面器件(200)、液晶显示器(300)和材料皿(400),所述材料皿(400)的底面为透光面,所述超构表面器件(200)包括介质衬底(210)和分布在所述介质衬底(210)上的若干超构单元(220),所述超构单元(220)包括若干纳米柱(221),所述照明装置(100)包括支承板(110)和分布在所述支承板(110)上的若干照明单元(120),所述照明单元(120)与所述超构单元(220)一一对应;

所述照明单元(120)的光轴与其所对应的所述超构单元(220)的中心同轴;

在一个所述超构单元(220)中,所述纳米柱(221)的延迟相位应满足:

$$\Phi(r) = \Phi(0) + \frac{2\pi}{\lambda} \times (f - \sqrt{r^2 + f^2});$$

其中, r 为该所述纳米柱(221)与该所述超构单元(220)的中心的距离; λ 为所述照明单元(120)的入射光的波长; f 为该所述超构单元(220)的焦距,也是所述照明单元(120)与所述超构单元(220)之间的距离; $\Phi(0)$ 为该所述超构单元(220)的中心处的相位。

2. 根据权利要求1所述的光固化3D打印技术的匀光照明系统,其特征在于,所述照明单元(120)和所述超构单元(220)以及一个所述超构单元(220)中的所述纳米柱(221)均为矩形阵列分布。

3. 根据权利要求1所述光固化3D打印技术的匀光照明系统,其特征在于,相邻两个所述照明单元(120)之间的间隔 d 应满足以下关系:

$$d = \frac{2f \cdot NA}{\sqrt{n^2 - NA^2}};$$

其中, f 为该所述超构单元(220)的焦距,也是所述照明单元(120)与所述超构单元(220)之间的距离; n 为所述照明单元(120)与所述超构单元(220)之间的介质的折射率; NA 为所述超构单元(220)的数值孔径。

4. 根据权利要求1所述的光固化3D打印技术的匀光照明系统,其特征在于,所述照明单元(120)采用微米发光二极管。

5. 根据权利要求4所述的光固化3D打印技术的匀光照明系统,其特征在于,所述照明单元(120)包括由下至上依次为基板(121)、金属层(122)、p型半导体层(123)、有源层(124)、n型半导体层(125)和钝化层(126)。

6. 根据权利要求5所述的光固化3D打印技术的匀光照明系统,其特征在于,所述金属层(122)为金层。

7. 根据权利要求6所述的光固化3D打印技术的匀光照明系统,其特征在于,所述n型半导体层和所述钝化层之间还设有至少一个过渡结构,所述过渡结构包括上下设置的二氧化钛层(128)和二氧化硅层(127)。

8. 一种光固化3D打印技术的匀光照明系统的设计方法,其特征在于,包括如下步骤:

将若干照明单元间隔均匀分布地安装到支承板上,组成照明装置;

在介质衬底上制造纳米柱形成超构表面器件,超构表面器件分成若干超构单元,一个超构单元包括若干纳米柱,超构单元的数量与照明单元的数量相等,一个超构单元与一个

照明单元对应,属于同一个超构单元内的纳米柱的直径根据对应的照明单元发出的光波相位延迟来制作;

将照明装置置于最下方,由下至上依次在支承板的上方间隔叠放超构表面器件、液晶显示器和用于放置液态打印材料材料皿。

一种光固化3D打印技术的匀光照明系统及其设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及3D打印技术领域,特别是涉及一种光固化3D打印技术的匀光照明系统及其设计方法。

背景技术

[0002] 在过去的20年间,3D打印技术作为个性化定制的快速成型技术,已得到广泛的应用,如医药医疗、机械部件制造、航空航天和科学研究,甚至成为个人的制造车间。如何提高精度的同时又不失速度,是当下3D打印技术追求的目标之一。

[0003] 现有基于光固化的3D打印技术中,SLA (Stereolithography,立体光刻)和DLP (Digital Light Processing,数字光处理)在商业上发展成熟,但SLA和DLP复杂的光学与机械系统极大地提高了成本。LCD(Liquid Crystal Display,液晶显示)-3D打印机属于新型设备,其光学系统结构简洁、成本数倍低于SLA和DLP,与DLP不同的是,LCD-3D打印系统利用液晶分子的偏转,来控制单个像素的明暗,以此形成动态掩模。然而,LCD-3D打印系统的匀光效果不良、光通量不足,由此致使精度不足、边缘轮廓不锐利、耗时增加。

[0004] 中国发明专利申请CN108466427A(公开日为2018年08月31日)公开了一种光固化3D打印光学模块及光固化3D打印系统,包括液晶屏组件和背光组件,背光组件包括中空的遮光罩,遮光罩一端设有LED照明装置,另一端设有集光组件,遮光罩内LED照明装置和集光组件之间设有导光组件,LED照明装置与一散热组件相连,集光组件和导光组件通过支撑组件固定在遮光罩内壁上,遮光罩的集光组件所在端与液晶屏组件相连,LED照明装置为 $m \times n$ 个LED(m 、 n 均为大于等于1的正整数)均匀排布的LED阵列,集光组件为光轴与LED阵列中LED光轴一一对应的菲涅耳透镜阵列。但是菲涅耳透镜精度低、聚光效果差,导致打印出来的产品精度不足、边缘轮廓不锐利、且耗时增加。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种应用于光固化3D打印、匀光效果好、打印精度高的光固化3D打印技术的匀光照明系统及其设计方法。

[0006] 为了实现上述目的,本发明提供了一种光固化3D打印技术的匀光照明系统,包括由下至上依次间隔设置的照明装置、超构表面器件、液晶显示器和材料皿,所述材料皿的底面为透光面,所述超构表面器件包括介质衬底和分布在所述介质衬底上的若干超构单元,所述超构单元包括若干纳米柱,所述照明装置包括支承板和分布在所述支承板上的若干照明单元,所述照明单元与所述超构单元一一对应。

[0007] 作为优选方案,所述照明单元的光轴与其所对应的所述超构单元的中心同轴。

[0008] 作为优选方案,在一个所述超构单元中,所述纳米柱的延迟相位应满足:

$$[0009] \quad \Phi(r) = \Phi(0) + \frac{2\pi}{\lambda} \times \left(f - \sqrt{r^2 + f^2} \right);$$

[0010] 其中, r 为该所述纳米柱与该所述超构单元的中心之间的距离; λ 为所述照明单元的入

射光的波长； f 为该所述超构单元的焦距，也是所述照明单元与所述超构单元之间的距离； $\Phi(0)$ 为该所述超构单元的中心处的相位。

[0011] 作为优选方案，所述照明单元和所述超构单元以及一个所述超构单元中的所述纳米柱均为矩形阵列分布。

[0012] 作为优选方案，相邻两个所述照明单元(120)之间的间隔 d 应满足以下关系：

$$[0013] \quad d = \frac{2f \cdot NA}{\sqrt{n^2 - NA^2}};$$

[0014] 其中， f 为该所述超构单元(220)的焦距，也是所述照明单元(120)与所述超构单元(220)之间的距离； n 为所述照明单元(120)与所述超构单元(220)之间的介质的折射率； NA 为所述超构单元(220)的数值孔径。

[0015] 作为优选方案，所述照明单元采用微米发光二极管。

[0016] 作为优选方案，所述照明单元包括由下至上依次为基板、金属层、p型半导体层、有源层、n型半导体层和钝化层。

[0017] 作为优选方案，所述金属层为金层。

[0018] 作为优选方案，所述n型半导体层和所述钝化层之间还设有至少一个过渡结构，所述过渡结构包括上下设置的二氧化钛层和二氧化硅层。

[0019] 本发明还提供一种光固化3D打印技术的匀光照明系统的设计方法，包括如下步骤：

[0020] 将若干照明单元间隔均匀分布地安装到支承板上，组成照明装置；

[0021] 在介质衬底上制造纳米柱形成超构表面器件，超构表面器件分成若干超构单元，一个超构单元包括若干纳米柱，超构单元的数量与照明单元的数量相等，一个超构单元与一个照明单元对应，属于同一个超构单元内的纳米柱的直径根据对应的照明单元发出的光波相位延迟来制作；

[0022] 将照明装置置于最下方，由下至上依次在支承板的上方间隔叠放超构表面器件、液晶显示器和用于放置液态打印材料的材料皿。

[0023] 与现有技术相比，本发明的有益效果在于：

[0024] 本发明通过在照明装置的上方设置超构表面器件，超构表面器件是由亚波长人工单元组成的表面结构，能够有效且灵活地调控电磁波的振幅、相位和偏振，具有很好的匀光效果，并且本发明采用若干照明单元以及将超构表面器件分为若干与照明装置的照明单元一一对应的超构单元，可保证光照度，提高打印产品的精度和边缘轮廓的锐利度，提高效率。

附图说明

[0025] 图1是本发明实施例的光固化3D打印技术的匀光照明系统的布置示意图。

[0026] 图2是本发明实施例的超构单元与照明单元的位置示意图。

[0027] 图3是本发明实施例的照明单元的剖面图。

[0028] 图4是本发明实施例的光固化3D打印技术的匀光照明系统的设计方法流程图。

[0029] 图中，100-照明装置；110-支承板；120-照明单元；121-基板；122-金属层；123-p型半导体层；124-有源层；125-n型半导体层；126-钝化层；127-二氧化硅层；128-二氧化钛层；

200-超构表面器件;210-介质衬底;220-超构单元;221-纳米柱;300-液晶显示器;400-材料皿;500-工作台。

具体实施方式

[0030] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0031] 在本发明的描述中,需要说明的是,术语“中心”、“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的光学系统或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0032] 如图1所示,本发明优选实施例的一种光固化3D打印技术的匀光照明系统,包括由下至上依次间隔设置的照明装置100、超构表面器件200、液晶显示器300和材料皿400,材料皿400的底面为透光面,超构表面器件200包括介质衬底210和分布在介质衬底210上的若干超构单元220,超构单元220包括若干纳米柱221,照明装置100包括支承板110和分布在支承板110上的若干照明单元120,照明单元120与超构单元220一一对应。本实施例通过在照明装置100的上方设置超构表面器件200,超构表面器件200是由亚波长人工单元组成的表面结构,能够有效且灵活地调控电磁波的振幅、相位和偏振,具有很好的匀光效果,并且本实施例采用若干照明单元120以及将超构表面器件200分为若干与照明装置100的照明单元120一一对应的超构单元220,可保证光照度,提高打印产品的精度和边缘轮廓的锐利度,提高效率。

[0033] 照明单元120发出的是球面光波,超构表面器件200可减小发散角,将球面光波调制为平面光波,实现了匀光。超构表面器件200宏观上是一平板器件,而微观上,其表面由众多亚波长尺寸的微纳结构组成。一个照明单元120对应着一个超构单元220,照明单元120辐射的光受对应超构单元220的调控,采用了多个照明单元120,可将照明装置100均匀分布,使入射光均匀,并且将匀光调制单元化,解决采用单一照明单元因空间位置产生的中间亮度高、周围亮度低的问题,提升整体效果。在本实施中,超构单元220为正方形区域,且一个超构单元220的面积不大于 $50\mu\text{m}$ 。本实施例的超构表面器件200的形状与尺寸和支承板110相同,且在空间布置上重合在一起。

[0034] 进一步地,如图2所示,本实施例的照明单元120的光轴与其所对应的超构单元220的中心同轴,方便纳米柱221的设置。在一个超构单元220中,纳米柱221的延迟相位应满足:

$$[0035] \quad \Phi(r) = \Phi(0) + \frac{2\pi}{\lambda} \times (f - \sqrt{r^2 + f^2});$$

[0036] 其中,r为该纳米柱221与该超构单元220的中心的距离; λ 为照明单元120的入射光的波长;f为该超构单元220的焦距,也是照明单元120与超构单元220之间的距离; $\Phi(0)$ 为该超构单元220的中心处的相位。超构表面器件200可通过调整纳米柱221的直径来调整该纳米柱221的相位。在本实施例中,由于照明单元120的光轴与超构单元的中心同轴,因此, $\Phi(0) = 0$ 。

[0037] 在本实施例中,纳米柱221的高度为H,通过改变纳米柱221的直径D实现延迟相位。

纳米柱221的高度应能足够、完整地延迟 2π 的相位。在本实施例中,高度为H约等于照明单元120的入射光的波长 λ ,优选 $H=\lambda\pm 5$ 。纳米柱221的高度为H,以纳米柱221的直径D为变量,上述延迟相位关系作为函数,超构单元220中心的纳米柱221的直径D最大,延迟的相位 Φ 将随着纳米柱221的直径D减小而递减。

[0038] 可选地,照明单元120和超构单元220以及一个超构单元220中的纳米柱221均为矩形阵列分布,使整个超构表面器件200的所有纳米柱221呈矩形阵列分布,避免相邻的两个超构单元220之间间隙过大导致光照度不均匀。在本实施例中,超构表面器件200的相邻的两个纳米柱221之间的距离相等,方便制作。

[0039] 进一步地,相邻两个照明单元120之间的间隔d应满足以下关系:

$$[0040] \quad d = \frac{2f \cdot NA}{\sqrt{n^2 - NA^2}};$$

[0041] 其中,f为该超构单元220的焦距,也是照明单元120与超构单元220之间的距离;n为照明单元120与超构单元220之间的介质的折射率,照明装置100与超构表面器件200是间隔设置的,因此,照明装置100与超构表面器件200之间存在介质,本实施例的介质为空气,应当指出的是,照明装置100与超构表面器件200也可填充其他介质;NA为超构单元220的数值孔径。光学系统的数值孔径NA是一个无量纲的数,用以衡量该系统能够收集的光的角度范围。由多个纳米柱组成的超构单元220可以比作是一个光学镜头。数值孔径 $NA=n \cdot \sin\alpha$;其中,n为照明单元120与超构单元220之间的介质的折射率; α 为孔径半角,是超构单元220光轴上的物体点与该超构单元220的孔径所形成的角度。数值孔径体现了超构单元220与照明单元120之间的耦合效率。本实施例的数值孔径取0.6~0.85。照明单元120的间隔大小可调整其密度,本实施例的照明单元120的间隔根据超构单元220的数值孔径调整,超构单元220的数值孔径大,则超构单元220的集光性能提高,照明单元120的间隔增大、密度降低,系统的光通量总体下降;超构单元220的数值孔径小,则超构单元220的集光性能降低,照明单元120的间隔减小、密度增大,系统的光通量总体上升;因此,通过数值孔径限制相邻两个照明单元120之间的距离,可使经过了超构表面器件200的光均匀射出。

[0042] 在本实施例中,照明单元120采用微米发光二极管,微米发光二极管是以自发光的微米量级的LED为发光像素单元,集成度高、像素间距小,可以有更紧凑的排布和封装,能提供更均匀的入射光,有利于得到均匀的光照度,明显降低匀光的难度,进一步提高匀光效果。本实施例的照明单元120采用紫外光微米发光二极管。紫外光微米发光二极管波长为405~420nm。

[0043] 进一步地,如图3所示,照明单元120包括由下至上依次为基板121、金属层122、p型半导体层123、有源层124、n型半导体层125和钝化层126。外量子效率是反映发光二极管的重要的参数之一,而影响外量子效率的主要因素包括光提取效率,然而由于有源层的自吸收、基板吸收、电极吸收和出光表面损耗等因素,光提取效率较低,限制了光通量的提高,从而影响了光固化的光亮度,影响打印精度、边缘轮廓的锐利度和效率。本实施例设置金属层122,可使来自有源层124的光向正面方向反射,提高光提取效率,进而提高发光强度。本实施例的金属层122为金层,反射率高;有源层124采用多量子阱结构。另外,n型半导体层和钝化层之间还设有至少一个过渡结构,过渡结构包括上下设置的二氧化钛层128和二氧化硅层127,二氧化钛层128可消除有源层14与钝化层126之间的界面处的反射,从而提高照明单

元的光提取效率。本实施例的钝化层126采用二氧化硅层。

[0044] 本实施例的液晶显示器300包括两片平行的玻璃基板以及玻璃基板当中放置液晶盒,下基板玻璃上设置薄膜晶体管,通过薄膜晶体管上的信号与电压改变来控制液晶分子的转动方向,从而达到控制每个像素点偏振光出射与否而达到显示目的。液晶显示器300作为空间光调制器件,是形成动态掩模的核心器件,通过电压控制,可独立控制每一液晶像素单元的偏转。照明单元120发出光波,经超构表面器件200调控的均匀聚合光能被液晶显示器300有选择地通过,形成二维动态掩模并投射于材料皿400的底面,诱发光固化。

[0045] 另外,本实施例的光固化3D打印技术的匀光照明系统还设置了工作台500,工作台500可位于材料皿400的上方且可上下移动,工作台500的工作面与支承板110的形状、尺寸相同。工作台500的工作面为与材料皿400相对的底面。使工作台500的工作面均可受到光照,有利于打印的光学系统的结构紧凑。

[0046] 如图4所示,本实施例还提供一种上述光固化3D打印技术的匀光照明系统的设计方法,包括如下步骤:

[0047] 将若干照明单元间隔均匀分布地安装到支承板上,组成照明装置;

[0048] 进一步地,相邻两个照明单元120之间的间隔d应满足以下关系:

$$[0049] \quad d = \frac{2f \cdot NA}{\sqrt{n^2 - NA^2}};$$

[0050] 其中,f为该超构单元220的焦距,也是照明单元120与超构单元220之间的距离;n为照明单元120与超构单元220之间的介质的折射率;NA为超构单元220的数值孔径。

[0051] 在介质衬底上制造纳米柱形成超构表面器件,超构表面器件分成若干超构单元,一个超构单元包括若干纳米柱,超构单元的数量与照明单元的数量相等,一个超构单元与一个照明单元对应,属于同一个超构单元内的纳米柱的直径根据对应的照明单元发出的光波相位延迟来制作;本实施例在一个超构单元220中,纳米柱221的延迟相位应满足:

$$[0052] \quad \Phi(r) = \Phi(0) + \frac{2\pi}{\lambda} \times (f - \sqrt{r^2 + f^2});$$

[0053] 其中,r为该纳米柱221与该超构单元220中心的距离; λ 为照明单元120的入射光的波长;f为该超构单元220的焦距,也是照明单元120与超构单元220之间的距离; $\Phi(0)$ 为该超构单元220的中心处的相位。超构表面器件200可通过调整纳米柱221的直径来调整该纳米柱221的相位。在本实施例中,由于照明单元120的光轴与超构单元的中心同轴,因此, $\Phi(0) = 0$;

[0054] 进一步地,将纳米柱221间隔均匀分布,间隔为1,设定纳米柱221的高度为H,通过改变纳米柱221的直径D实现延迟相位。高度为H约等于照明单元120的入射光的波长 λ ,在本实施例中, $H = \lambda \pm 5$ 。纳米柱221的高度为H,以纳米柱221的直径D为变量,上述延迟相位关系作为函数,超构单元220中心的纳米柱221的直径D最大,延迟的相位 Φ 将随着纳米柱221的直径D减小而递减。

[0055] 将照明装置置于最下方,由下至上依次在支承板的上方间隔叠放超构表面器件、液晶显示器和用于放置液态打印材料的材料皿。

[0056] 本发明的工作过程为:将液态打印材料倒入材料皿400中,设置好打印模型后,打印工作开始。工作台500向下移动,伸入材料皿400中并浸入液态打印材料中,直至工作台

500的工作面与材料皿400的底面贴合,当完成打印模型的识别后,工作台500会上升一定的高度,此高度等于单层的厚度。待周围的液态材料填充完毕,开始曝光。照明单元120发出的光波经过超构表面器件200照射在液晶显示器300上,液晶显示器300根据打印模型调节电压控制聚合光的透过,液态打印受到光照而固化,完成该层的打印。当打印模型的第一层曝光完成,此层会固化于工作台500的工作面上。系统会控制附着材料的工作台500垂直上升单层的厚度,待周围的液态材料渗入、补充上一层固化材料的空间。接着,系统控制液晶显示器300形成下一层的图案;如此循环曝光,直至完成最后一层。

[0057] 综上,本发明实施例提供一种光固化3D打印技术的匀光照明系统,其通过在照明装置100的上方设置超构表面器件200,超构表面器件200是由亚波长人工单元组成的表面结构,能够有效且灵活地调控电磁波的振幅、相位和偏振,具有很好的匀光效果,并且本实施例采用若干照明单元120以及将超构表面器件200分为若干与照明装置100的照明单元120一一对应的超构单元220,可保证光照度,提高打印产品的精度和边缘轮廓的锐利度,提高效率。

[0058] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干改进和替换,这些改进和替换也应视为本发明的保护范围。

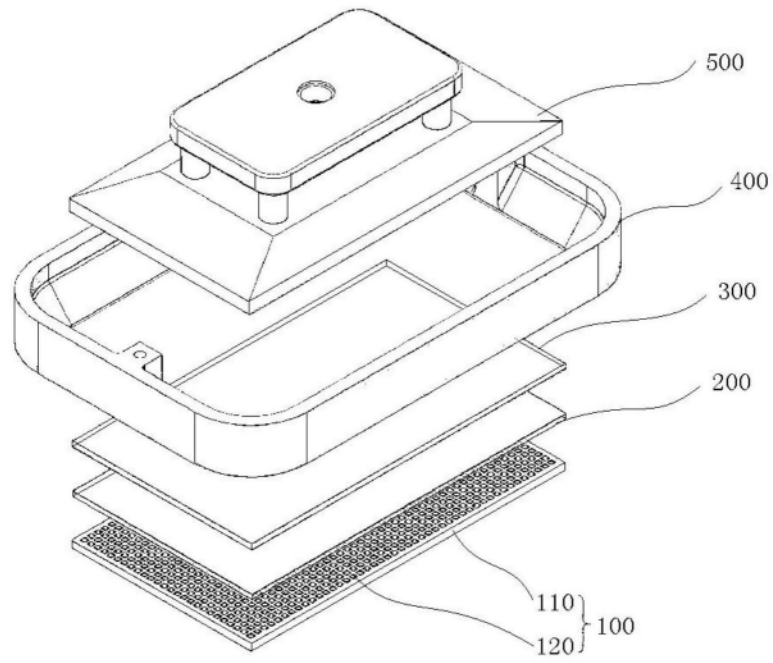


图1

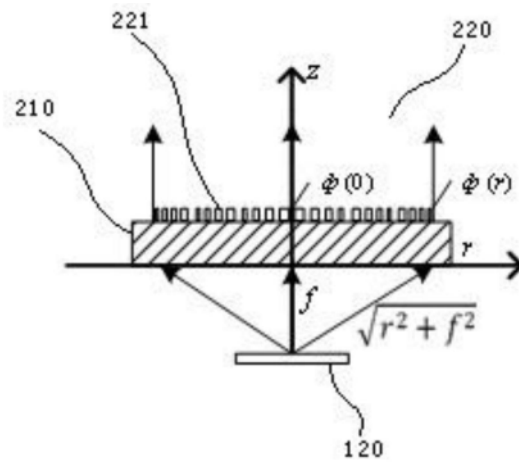


图2

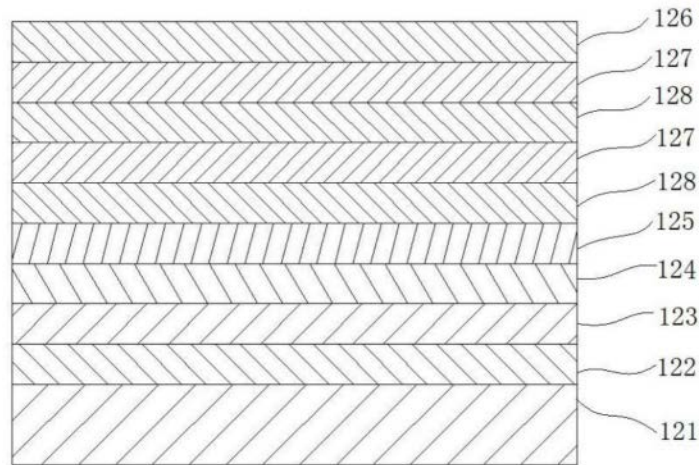


图3

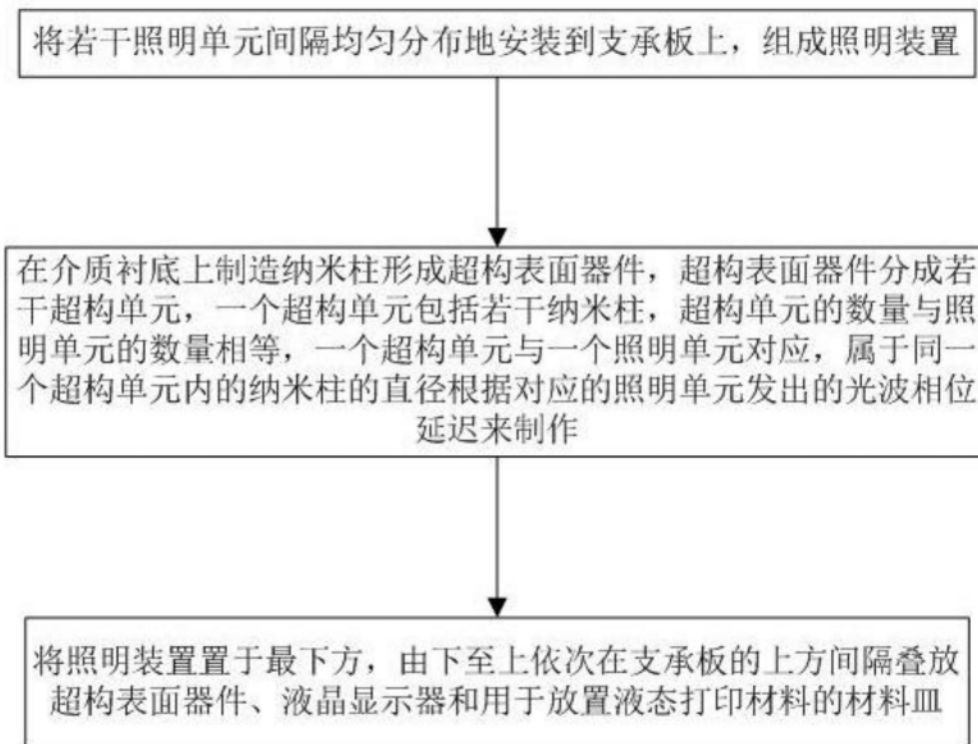


图4