



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118671868 A

(43) 申请公布日 2024. 09. 20

(21) 申请号 202410266790.1

G03F 1/76 (2012.01)

(22) 申请日 2024.03.08

(30) 优先权数据

10-2023-0036089 2023.03.20 KR

10-2023-0097032 2023.07.25 KR

(71) 申请人 浦项工科大学校产学协力团

地址 韩国庆尚北道

(72) 发明人 鲁竣锡 金周勋 成俊和

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

专利代理师 金拟燊

(51) Int. Cl.

G02B 3/00 (2006.01)

G03F 7/00 (2006.01)

G03F 1/80 (2012.01)

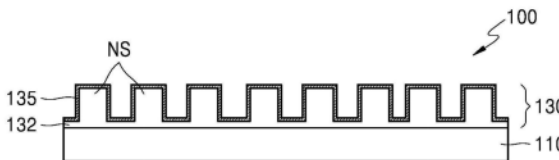
权利要求书2页 说明书11页 附图19页

(54) 发明名称

超透镜,包括其的电子装置,以及超透镜的
制造方法

(57) 摘要

超透镜包括基板、在所述基板上提供的多个
纳米结构体、以及高折射率原子层,所述高折射
率原子层沿着所述多个纳米结构体的表面形成
并且包含具有大于所述多个纳米结构体的折射
率的折射率的材料。



- 1.超透镜,包含:
基板;
在所述基板上提供的多个纳米结构体;以及
高折射率原子层,所述高折射率原子层沿着所述多个纳米结构体的表面形成,并且包括具有大于所述多个纳米结构体的折射率的折射率的材料。
- 2.如权利要求1所述的超透镜,其中所述高折射率原子层包括 TiO_2 。
- 3.如权利要求1所述的超透镜,其中所述高折射率原子层的厚度为约20nm至约30nm。
- 4.如权利要求1所述的超透镜,其中确定所述高折射率原子层的厚度,使得藉由涂覆有所述高折射率原子层的纳米结构体的绿光偏振转换效率为70%或更高。
- 5.如权利要求1所述的超透镜,其中所述高折射率原子层包括 ZrO_2 。
- 6.如权利要求1所述的超透镜,其中所述多个纳米结构体包括UV固化性树脂。
- 7.如权利要求1所述的超透镜,其进一步包含平面层,所述平面层在所述基板和所述多个纳米结构体之间形成并且包括与所述多个纳米结构体相同的材料。
- 8.电子装置,包含:
透镜组装件,所述透镜组装件包含如权利要求1所述的超透镜;
图像传感器,所述图像传感器配置成将由所述透镜组装件形成的物体的光学图像转换为电信号;以及
处理器,所述处理器配置成处理来自所述图像传感器的信号。
- 9.电子装置,包含:
提供图像光的显示器件;
如权利要求1所述的超透镜,所述超透镜将从所述显示器件提供的光聚焦到用户的视场上;以及
处理器,所述处理器配置成控制所述显示器件。
- 10.如权利要求9所述的电子装置,进一步包含位于将图像光引导到用户的视场所沿着的路径上的分束器,
其中所述处理器进一步配置成控制所述显示器件以基于用户正在观看的环境输出额外的图像。
- 11.制造超透镜的方法,所述方法包含:
制造母印,所述母印包括与待提供在所述超透镜中的多个纳米结构体的阵列相同的第一图案;
通过复制所述母印来制造复制品模具;
通过将所述复制品模具压印在UV固化性树脂上而形成包括所述多个纳米结构体的纳米结构体层;以及
在所述多个纳米结构体的表面上共形地形成高折射率原子层。
- 12.如权利要求11所述的方法,进一步包含制备用于制造所述母印的掩模版。
- 13.如权利要求11所述的方法,其中所述母印的制造包含:
在基板上形成硬掩模层;
在所述硬掩模层上形成光刻胶层;
将所述光刻胶层图案化,使得所述光刻胶层具有所述第一图案;

使用被图案化以具有所述第一图案的光刻胶层作为刻蚀掩模来刻蚀所述硬掩模层;以及

使用经图案化的光刻胶层和经刻蚀的硬掩模层作为刻蚀掩模来刻蚀所述基板。

14. 如权利要求13所述的方法,其中,在所述光刻胶层的图案化期间,仅使用在透镜光学系统的光学轴附近入射的一些光来进行扫描和步进曝光工艺。
15. 如权利要求13所述的方法,其中所述基板包括具有4英寸或更大的直径的硅基板。
16. 如权利要求13所述的方法,其中所述硬掩模层包括无定形碳层。
17. 如权利要求11所述的方法,其中所述高折射率原子层包括 TiO_2 。
18. 如权利要求11所述的方法,其中所述高折射率原子层的厚度为约20nm至约30nm。

超透镜,包括其的电子装置,以及超透镜的制造方法

[0001] 相关应用交叉参考

[0002] 本申请基于韩国专利申请No.10-2023-0036089(于2023年3月20日在韩国知识产权局提交)和10-2023-0097032(于2023年7月25日在韩国知识产权局提交),并根据35U.S.C.§119要求其优先权,其公开内容通过引用以其整体纳入本文。

背景

1.技术领域

[0004] 本公开内容涉及超透镜和制造所述超透镜的方法。

[0005] 本发明由Samsung Research Funding&Incubation Center of Samsung Electronics在项目编号SRFC-IT1901-52下资助。

2.背景技术

[0006] 超透镜(meta lens)包括具有超结构体(meta-structure)的平面衍射元件。超透镜正在许多领域中引起人们越来越多的兴趣,因为其表现出现有折射元件尚未实现的各种光学效果,并且可用于制造薄光学系统。

[0007] 超结构体包括具有小于入射光波长的形状、周期或诸如此类的纳米结构体。通过控制纳米结构体的排列和形状,可获得对于所需光学性能合适的相分布(phase profile),并且通过特定工艺正确地实现这些设计细节。

[0008] 最近,已对能够批量生产超透镜的制造方法进行了研究。例如,已经尝试了使用i线步进平版印刷、KrF步进平版印刷或诸如此类的批量生产工艺,通过所述批量生产工艺适当地实现所需纳米结构体形状。然而,由于低的图案分辨率和在可使用材料方面的限制,生产可在整个可见光范围内使用的超透镜是不容易的。

发明内容

[0009] 提供了超透镜和制造所述超透镜的方法。

[0010] 额外的方面将部分地在下面的描述中阐述,并且部分地将由所述描述明晰,或者可通过本公开内容所呈现的实施方式的实践而获悉。

[0011] 根据本公开内容的方面,超透镜包括基板、在所述基板上提供的多个纳米结构体、以及高折射率原子层,所述高折射率原子层沿着所述多个纳米结构体的表面形成并且包括具有大于所述多个纳米结构体的折射率的折射率的材料。

[0012] 所述高折射率原子层可包括 TiO_2 。

[0013] 所述高折射率原子层的厚度可为约20nm至约30nm。

[0014] 可确定所述高折射率原子层的厚度,使得藉由涂覆有所述高折射率原子层的纳米结构体的绿光偏振转换效率为70%或更高。

[0015] 所述高折射率原子层可包括 ZrO_2 。

[0016] 所述多个纳米结构体可包括UV固化性树脂。

[0017] 平面层可进一步地提供在所述基板和所述多个纳米结构体之间,并且包括与所述

多个纳米结构体相同的材料。

[0018] 根据本公开内容的另一方面,电子装置包括包含上述超透镜中的任一种的透镜组、配置成将由所述透镜组形成的物体的光学图像转换为电信号的图像传感器、以及配置成处理来自所述图像传感器的信号的处理器的。

[0019] 根据本公开内容的另一方面,电子装置包括提供图像光的显示器件、上述超透镜中的任一种、将从所述显示器件提供的光聚焦到用户的视场上的超透镜、以及配置成控制所述显示器件的处理器。

[0020] 所述电子装置可进一步包括如下分束器 (beam splitter),所述分束器放置在所述图像光被引导到用户的视场所沿着的路径上,其中所述处理器进一步配置成控制所述显示器件以基于用户正在观看的环境来输出额外的图像。

[0021] 根据本公开内容的另一方面,制造超透镜的方法包括制造母印,所述母印包括与待提供在所述超透镜中的多个纳米结构体的阵列相同的第一图案,通过复制所述母印来制造复制品模具 (replica mold),通过将所述复制品模具压印在UV固化性树脂上而形成包括所述多个纳米结构体的纳米结构体层,以及在所述多个纳米结构体的表面上共形地形成高折射率原子层。

[0022] 所述方法可进一步包括制备用于制造所述母印的掩模版 (reticle, 标线)。

[0023] 所述母印的制造可包括在基板上形成硬掩模层,在所述硬掩模层上形成光刻胶层,将所述光刻胶层图案化使得所述光刻胶层具有所述第一图案,使用被图案化以具有所述第一图案的光刻胶层作为刻蚀掩模来刻蚀所述硬掩模层,以及使用图案化的光刻胶层和刻蚀的硬掩模层作为刻蚀掩模来刻蚀所述基板。

[0024] 在所述光刻胶层的图案化期间,仅使用在透镜光学系统的光学轴附近入射的一些光来进行步进和扫描曝光工艺。

[0025] 基板可包括具有4英寸或更大的直径的硅基板。

[0026] 所述硬掩模层可包括无定形碳层。

[0027] 所述高折射率原子层可包括 TiO_2 。

[0028] 所述高折射率原子层的厚度可为约20nm至约30nm。

附图说明

[0029] 本公开内容的某些实施方式的上述和其它方面、特征和优点将从结合附图的以下描述中更加明晰,其中:

[0030] 图1是显示根据实施方式的超透镜的示意结构的横截面视图;

[0031] 图2是显示根据实施方式的超透镜中纳米结构体的形状的实例的局部剖切透视图;

[0032] 图3是显示取决于根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体的高度和施加在所述纳米结构体上的高折射率原子层的厚度的转换效率的模拟图;

[0033] 图4是显示取决于根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体的横截面的宽度和长度的转换效率的模拟图;

[0034] 图5是显示取决于在根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体上施加的高折射率原子层的厚度的对于R、G和B波长的光的转换效率的模拟图;

- [0035] 图6是显示电场分布的模拟图,所述电场分布是由于根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体;
- [0036] 图7是显示取决于施加至根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体的高折射率原子层的厚度的折射率变化的模拟图;
- [0037] 图8是显示电场分布的模拟图,所述电场分布是由于根据对比例的超透镜中提供的纳米结构体;
- [0038] 图9是示意地解释制造根据实施方式的超透镜的方法的流程图;
- [0039] 图10A至10E是显示制造在制造母印中使用的掩模版的工艺的实例的视图;
- [0040] 图11A至11G是显示制造母印的工艺实例的视图;
- [0041] 图12A和12B是解释曝光工艺的细节的视图;
- [0042] 图13A至13E是显示将母印复制以形成复制品模具和使用复制品模具来制造超透镜的工艺实例的视图;
- [0043] 图14显示晶片的显微镜图像,在所述晶片上通过根据实施方式的超透镜制造方法来形成超透镜;
- [0044] 图15显示通过根据实施方式的超透镜制造方法而制造的超透镜的一部分的放大显微镜图像;
- [0045] 图16A至17C是显示根据实施方式的超透镜的性能的视图;
- [0046] 图18是显示根据实施方式的超透镜的调制传递函数的图表;
- [0047] 图19示出根据实施方式的超透镜的分辨率性能的视图;
- [0048] 图20显示根据实施方式的电子装置的示意结构;
- [0049] 图21示出在实验上显示根据实施方式的超透镜可应用于虚拟现实装置的照片;
- [0050] 图22显示根据另一实施方式的电子装置的示意结构;以及
- [0051] 图23显示根据另一实施方式的电子装置的示意结构。

具体实施方式

[0052] 现在将详细地参考实施方式,其实例在附图中说明,其中相同的附图标记始终是指相同的元件。在这点上,本实施方式可具有不同的形式,并且不应被解释为限于本文中所阐述的描述。因此,下文仅通过参考图来描述实施方式以解释本描述的方面。如本文所使用的,术语“和/或”包括相关列出的项目的一个或多个的任意和所有组合。当在要素列表之前时,表述诸如“……(中)的至少一个(种)”修饰整个要素列表,而不是修饰所述列表的单一要素。

[0053] 在下文中,通过参照附图详细地描述实施方式。以下描述的实施方式仅为实例,并且可从所述实施方式做各种变化。在以下附图中,相同的附图标记指的是相同的组件,并且为了清晰和描述的方便,附图中组件中的每一个的尺寸可被夸大。

[0054] 在下文中,当一元件被称为“在”另外的元件“上方”或“上”时,所述元件不仅可直接在另外的元件上方并且与另外的元件接触,而且所述元件可在另外的元件上方但不与另外的原件接触。

[0055] 尽管术语,诸如第一和第二,可用于描述各种元件,但这些术语仅用于将一个组件从其它组件区分。这些术语不意图限制元件的物质或结构是不同的。

[0056] 单数形式也包括复数形式,除非上下文另有明确说明。此外,当描述部件“包括”某一组件时,这意指所述部件可进一步地包括其它组件,而不是排除其它组件,除非特别地声明与此相反。

[0057] 此外,本文使用的术语,诸如“…部件”和“…模块”是指处理至少一种功能或操作的单元,其可作为硬件或软件或作为硬件和软件的组合而提供。

[0058] 术语“所述(该,定冠词,the)”和与其类似的其它指示词的使用可对应于单数形式和复数形式两者。

[0059] 方法中的操作可以任何适当的顺序进行,除非明确说明操作必须以提及的顺序来运行。此外,所有示例性术语(例如,“等”或“和(或)诸如此类”)的使用仅意图详细描述技术概念。除非被权利要求限制,本公开内容的范围不必然地被这些示例性术语限制。

[0060] 图1是显示根据实施方式的超透镜100的示意结构的横截面视图。

[0061] 超透镜100可包括利用具有亚波长形状尺寸的纳米结构体NS的衍射元件。亚波长是指小于待调制的入射光的波长的值。此外,亚波长是指小于在入射光的波长段(wavelength band)中的中心波长的值。可设置在超(meta)光学装置(或超透镜)中提供的纳米结构体NS的形状和排列,以获得对于入射光期望的透镜性能,例如期望的焦距、F值、或诸如此类。亚波长纳米结构体可被称为超原子(meta-atom),并且纳米结构体的阵列可被称为超表面(meta-surface)。

[0062] 超透镜100可包括基板110、在基板110上提供的多个纳米结构体NS、以及沿多个纳米结构体NS的表面形成的高折射率原子层135。

[0063] 平面层132可放置在纳米结构体NS和基板110之间。平面层132包括与纳米结构体NS相同的材料,并且可通过下文所描述的制造工艺形成。平面层132可为非常薄的或基本上不存在的。多个纳米结构体NS和平面层132可统称为纳米结构体层130。

[0064] 基板110可包括玻璃(熔融二氧化硅、BK7等)、石英、聚合物(PMMA、SU-8等)和塑料材料中的任何一种,并且可包括半导体基板。基板110可包括具有低于纳米结构体NS的折射率的折射率的材料。然而,实施方式不限于此。

[0065] 纳米结构体NS可包括具有与周围材料不同的折射率的材料,例如具有高折射率的材料。例如,纳米结构体NS可包括晶体硅(c-Si)、多晶硅(p-Si)、无定形硅(a-Si)、III-V族化合物半导体(GaP、GaN、GaAs等)、SiC、TiO₂、SiN和/或其组合。

[0066] 纳米结构体NS可包括紫外(UV)固化性树脂。构成纳米结构体NS的UV固化性树脂可考虑性质(诸如折射率、表面能和收缩率)而选择。例如,可使用具有低表面能、小收缩率和在可见波长段中高折射率的UV固化性树脂。

[0067] UV固化性树脂的收缩率可为例如小于5%。UV固化性树脂可表现出在可见波长段中约1.5至约1.6的折射率。

[0068] 如果UV固化性树脂的表面能是低的,则在使用压印方法制造超透镜100时,易于在打印后将复制品模具从纳米结构体NS分离,并且还可改进制造产率。

[0069] 例如,如果UV固化性树脂的表面能是高的,则对于复制品模具可需要单独的表面处理工艺,使得所述复制品模具从纳米结构体NS正确地分离。

[0070] 通过纳米打印的现有的超透镜工艺已通过将具有在可见光区域中高折射率的颗粒混合到树脂中而进行,以改进超透镜的性能,但是以这种方式生产的超透镜具有仅约

50%的效率。在实施方式中,可通过消除将这些颗粒混合到所述树脂中的工艺来增加待使用的树脂的自由度。此外,可使用具有低表面能和低收缩率(<5%)的特性的树脂材料,所述树脂材料允许在不进行额外的表面处理的情况下进行后处理。例如,市售MINS-311RM树脂可用作UV固化性树脂。

[0071] 高折射率原子层135包括具有高于纳米结构体NS的折射率的折射率的材料。例如,当纳米结构体NS的材料包括所述UV固化性树脂时,高折射率原子层135可包括具有比所述UV固化性树脂更高折射率的材料。高折射率原子层135可包括,例如, TiO_2 。 TiO_2 可表现出在可见波长段中约2.5的折射率。高折射率原子层135的材料不限于 TiO_2 ,并且可使用显示在可见波长段中比所述UV固化性树脂更高的折射率的各种材料。此外,高折射率原子层135的材料可包括对于不同于所述可见波长段的波长段而言合适的材料,这取决于超透镜100的目的。例如,可使用对于紫外波长段来说合适的 ZrO_2 。

[0072] 考虑到难以藉由通过纳米结构体NS的材料显示的折射率而实现在可见波长段中期望的透镜性能,提出了高折射率原子层135。纳米结构体NS的材料可根据制造便利而确定。然而,纳米结构体NS的材料可为受限的,这取决于使用打印方法的以下描述的制造方法,并且实现所需的折射率可为困难的。因此,所述实施方式采用如下结构,其中纳米结构体NS的表面共形地涂覆有具有比纳米结构体NS更高的折射率的材料。

[0073] 高折射率原子层135的厚度可通过考虑超透镜100的光调制效率来确定,即,通过考虑涂覆有高折射率原子层135的纳米结构体NS的光调制效率来确定。所述光调制效率可表示为偏振转换效率。例如,在超透镜100中包括的多个纳米结构体NS的排列角度取决于位置而不同地确定。因此,通过如下方法可获得所需的相分布:其中,取决于位置而控制由纳米结构体NS对入射光的偏振转换。在此情形中,随着偏振转换效率增加,可更好地获得所需的相分布。然而,纳米结构体NS的排列图案并不限于此。例如,可通过取决于位置而排列不同尺寸的纳米结构体NS来获得所需的相分布。

[0074] 高折射率原子层135的厚度可为约20nm至约30nm,并且可为约20nm至约25nm。然而,所述实施方式不限于此,并且考虑偏振转换效率,取决于纳米结构体NS的详细形状和尺寸,可确定高折射率原子层135的厚度。例如,设置高折射率原子层135的厚度,使得涂覆有高折射率原子层135的纳米结构体NS对整个可见波长段的光的偏振转换效率为60%或更高或65%或更高。此外,可设置高折射率原子层135的厚度使得例如绿光的偏振转换效率为60%或更高、65%或更高、70%或更高、80%或更高、85%或更高。

[0075] 图2是显示根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体NS的形状的实例的局部剖切透视图;

[0076] 纳米结构体NS可具有带有定义的高度、宽度和长度的矩形平行六面体形状。沿纳米结构体NS的表面可形成具有一定厚度的高折射率原子层135。

[0077] 确定这些形状尺寸的细节的模拟结果通过参考图3至7进行检查。

[0078] 图3是显示取决于根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体的高度和施加在纳米结构体上的高折射率原子层的厚度的转换效率的图,以及图4是显示取决于根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体的横截面的宽度和长度的转换效率的图;

[0079] 在所述模拟中,入射光的波长为532nm,纳米结构体NS的长度、宽度和高度分别为约260nm至约400nm、约70nm至约200nm、和约500nm至约900nm,以及纳米结构体NS的排列间

距 (arrangement pitch) 为450nm。高折射率原子层135的厚度为约0nm至约40nm。在该情形中,纳米结构体NS的材料包括UV固化性树脂,高折射率原子层135的材料包括 TiO_2 ,以及基板110的材料为 SiO_2 。

[0080] 图4的模拟图显示了纳米结构体NS的高度为900nm并且高折射率原子层135的厚度为23nm的情形。

[0081] 通过该模拟,可适当地设置纳米结构体NS的宽度、长度和高度以及高折射率原子层135的厚度。

[0082] 图5是显示取决于在根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体NS上施加的高折射率原子层135的厚度的对于R、G和B波长的光的转换效率的模拟图。

[0083] 在整个可见波长段中,表现出高偏振转换效率(例如60%或更高的效率)的高折射率原子层135的厚度可在约20nm至约25nm的范围内。

[0084] 图5显示当将高折射率原子层135制作至23nm的厚度时的结果,并且可以看出这些结果与模拟结果相似。

[0085] 图6是显示电场分布的模拟图,所述电场分布是由于根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体NS。

[0086] 模拟结果显示了圆偏振入射光在垂直于纳米结构体NS的高度方向的横截面上激发的两种主要模式。准横电(准TE)模和准横磁(准TM)模中的每个均由x方向偏振分量和y方向偏振分量激发。纳米结构体NS的双折射可表示为以上两种模式之间的折射率差异(Δn)。随着 Δn 增大,可获得高的偏振转换效率。

[0087] 图7是显示取决于在根据实施方式的超透镜中提供的纳米结构体上施加的高折射率原子层135的厚度的折射率变化的模拟图;

[0088] 参考图7, Δn 根据高折射率原子层135的厚度增大,并随后变得饱和。与在图5的图表中所见结果相似,可见高折射率原子层135的厚度被设置为约20nm至约25nm。

[0089] 图8是显示电场分布的模拟图,所述电场分布是由于根据对比例的超透镜中提供的纳米结构体。

[0090] 对比例的超透镜具有其中纳米结构体NS包括UV固化性树脂的结构,但对比例的超透镜不包括所述实施方式的高折射率原子层。

[0091] 参考图8,准TE模式和准TM模式由圆偏振光激发,即由x方向偏振分量和y方向偏振分量激发。当将图8与图6(即所述实施方式的结果)进行对比时,可分析出对比例显示比所述实施方式更低的 Δn ,并且因此表现出低的偏振转换效率。

[0092] 此外,根据所述实施方式的超透镜100,其具有高折射率原子层135共形地形成在纳米结构体NS的表面上的结构,与根据对比例的超透镜(即没有高折射率原子层的超透镜)相比可表现出强的抗外部冲击性能。作为模拟弯曲刚度的结果,根据所述实施方式的结构(其中高折射率原子层135施加在纳米结构体NS的表面上)的弯曲刚度为35.621N/m,并且该值被计算得出是根据对比例的纳米结构体(其中弯曲刚度被计算得出为0.046N/m)的约770倍高。

[0093] 图9是示意地解释制造根据实施方式的超透镜的方法的流程图。

[0094] 根据实施方式的超透镜制造方法可包括制造母印(S300),通过复制所述母印而形成复制品模具(S400),通过将所述复制品模具压印在UV固化性树脂上而形成纳米结构体层

(S450),在所述纳米结构体层的表面上形成高折射率原子层(S500)。此外,在制造所述母印之前,可进一步进行制备在制造母印时待曝光工艺中使用的掩模版的操作(S200)。

[0095] 图10A至10E是显示制造在制造母印中使用的掩模版200的工艺实例的视图。

[0096] 参考图10A,在透明基板210上形成光刻胶层220。

[0097] 参考图10B,在光刻胶层220上以预定图案形成曝光区域221。该工艺可使用电子束平版印刷方法进行。

[0098] 接下来,当通过显影工艺去除曝光区域221时,光刻胶层220被图案化,如图10C所示。在光刻胶层220上形成的图案对应于待制造的母印的逆转图案(reverse pattern)。

[0099] 参考图10D,在经图案化的光刻胶层220上形成金属层230。金属层230可包括能够阻挡光的各种金属。金属层230可包括例如铝(Al),但是所述实施方式不限于此。

[0100] 在图10D的结构体上进行剥离(lift-off)工艺以去除经图案化的光刻胶层220。在这里,在光刻胶层220上形成的金属层230的部分与光刻胶层220一起被去除。

[0101] 参考图10E,提供了掩模版200,其中在透明基板210上形成经图案化的金属层230。

[0102] 图11A至11G是显示母印300的制造工艺实例的视图;

[0103] 母印300可通过使用已通过图10A至10E的工艺制备的掩模版200的曝光工艺来制造。

[0104] 首先,参照图11A,可在基板310上形成硬掩模层320。基板310可包括例如硅基板。基板310可具有各种尺寸。基板310可具有4英寸或更大的直径,例如4英寸、6英寸、8英寸或12英寸的直径,但是所述实施方式不限于这些尺寸。硬掩模层320可包括例如无定形碳层。硬掩模层320包括具有比待硬掩模层320上形成的光刻胶材料更低的蚀刻选择性的材料,但所述实施方式不限于无定形碳材料。

[0105] 参考图11B,在硬掩模层320上形成光刻胶层330。

[0106] 硬掩模层320和光刻胶层330用作蚀刻掩模,以便以一定图案蚀刻基板310。在仅使用光刻胶层330作为蚀刻掩模的情况下,难以在基板310上形成深图案,因为光刻胶层330具有非常高的蚀刻选择性。换言之,在基板310被蚀刻至所需深度之前,光刻胶层330可被完全蚀刻,并且因此难以制造能够制造高纵横比结构体的母印。在基板310和光刻胶层330之间进一步形成具有低蚀刻选择性的硬掩模层320,使得可制造对于制造具有高纵横比的结构体而言适当的母印。

[0107] 参考图11C,通过曝光工艺对光刻胶层330进行图案化。已经通过图10A至10E的工艺制备的掩模版200,用作由曝光装置250提供的光的曝光掩模。从曝光装置250提供的光仅穿过其中未形成金属层230的掩模版200的部分,从而形成曝光区域331。当通过显影工艺去除曝光区域331时,形成图案化的光刻胶层330,如图11D所示。该曝光工艺可使用例如ArF浸入式扫描仪(immersion scanner)来进行。

[0108] 参考图11E,可使用经图案化的光刻胶层330作为蚀刻掩模来蚀刻硬掩模层320。

[0109] 参考图11F,使用光刻胶层330和硬掩模层320作为蚀刻掩模来蚀刻基板310。如上所述,当仅使用光刻胶层330作为蚀刻掩模来蚀刻基板310时,在将基板310蚀刻至所需深度之前,具有高蚀刻选择性的光刻胶层330可被蚀刻并去除。当如所述实施方式中的在基板310和光刻胶层330之间进一步提供硬掩模层320时,即使光刻胶层330被完全蚀刻并且不保留,具有低蚀刻选择性的硬掩模层320也可用作蚀刻掩模。因此,可将基板310蚀刻至所需深

度。接下来,当去除光刻胶层330和硬掩模层320时,完成具有图案300a的母印300,如图11G所示。

[0110] 图12A和12B是解释在图11C中示出的曝光工艺的细节的视图。

[0111] 图11C中所述的曝光装置250可包括光源251、孔径光阑253和一个或多个透镜255、256和257。此外,曝光装置250可进一步包括用于移动掩模版200和晶片WA的驱动台(未示出)。透镜255是用于准直入射光的准直透镜,以及透镜256和257是用于调节光束宽度的中继(relay)透镜259。透镜光学系统的配置只是一个实例,并且可更改成其它配置。

[0112] 来自光源251的光未通过孔径光阑253被引导到透镜255的外围区域,而是仅向靠近光轴的中心区域前进,并且在晶片WA上的一定的区域被该光以一定的图案曝光。此外,可同时且精确地移动掩模版200和晶片WA,并且因此,可完全曝光晶片WA。

[0113] 如图12B所示,在基板310上形成的光刻胶层330的区域可如箭头所指示的被扫描、步进和曝光。

[0114] 这种方法仅使用不会引起透镜畸变(distortion)的光来曝光晶片WA,不像使用通过透镜发射的全部光的一般的步进器。因此,可改进边缘工艺的精度,并且其对于生产大面积的母印是有利的。

[0115] 图13A至13E是显示将母印300复制以形成复制品模具400和使用复制品模具400来制造超透镜500的工艺实例的视图。

[0116] 参考图13A,通过复制在母印300上形成的图案300a来形成复制品模具400。通过在母印300上压花(emboss)或雕刻(engrave)形成的图案300a具有对应于构成待制造的超透镜的纳米结构体的形状和排列的形状。模具材料可压到母印300上,以形成复制品模具400,母印300的图案300a被复制到复制品模具400。复制品模具400可包括第一层420和第二层430。第二层430(其与母印300的图案300a直接接触)可包括具有比第一层420更低粘度和更高机械刚度(rigidity)的材料。例如,第一层420可包括硬聚二甲基硅氧烷(PDMS),以及第二层430可包括硬聚二甲基硅氧烷(h-PDMS)。然而,这只是一个实例,并且复制品模具400可成形为柔性材料的单个层。

[0117] 参考图13B,将UV固化性树脂533施加到复制品模具400上。UV固化性树脂533以未固化的液态提供,并填充在复制品模具400中形成的雕刻区域的内部。

[0118] 参考图13C,在将基板510放置在图13B所示的结构体以上后,对其施加压力并向其发射UV光。在该过程中,UV固化性树脂533被固化。经固化的UV固化性树脂533形成包括如图13D所示的多个纳米结构体NS的纳米结构体层530。纳米结构体层530可具有进一步地包括平面层532的形状。平面层532可为非常薄的或基本上不存在的。

[0119] 参考图13D,将复制品模具400从纳米结构体层530分离。如上所述,用作用于纳米结构体层530的材料的UV固化性树脂可选择为具有低表面能和低收缩率的材料。因此,这种分离工艺可在不对复制品模具400或纳米结构体NS造成损害的情况下很容易地进行。

[0120] 参考图13E,当在纳米结构体NS的表面上形成高折射率原子层535时,完成了晶片级超透镜500。

[0121] 高折射率原子层535可沿纳米结构体NS的表面共形地沉积。可使用各种沉积方法以形成高折射率原子层535,并且可使用溅射或原子层沉积(ALD)。高折射率原子层535可包括具有比纳米结构体NS更高的折射率的材料。高折射率原子层535的厚度可为约20nm至约

30nm或约20nm至约25nm,但所述实施方式不限于此。考虑对于入射光的偏振转换效率,可适当地确定高折射率原子层535的厚度。

[0122] 晶片级超透镜500可包括与基板510的直径成比例的非常大量的超透镜。例如,基板510可具有约30cm的直径。

[0123] 上述制造方法利用可被重复使用且具有大面积的复制品模具400,这对于超透镜的批量生产是有利的。例如,一般的平版印刷工艺在形成超透镜中提供的纳米结构体的详细形状方面具有低的产率。另外,当使用电子束平版印刷来制造超透镜时,制造一个超透镜需要长的时间,并且制造成本是高的。因此,这些方法对于超透镜的批量生产来说不是适当的。

[0124] 根据所述实施方式的制造方法包括以下的工艺:使用电子束平版印刷来制作掩模版200,使用掩模版200通过扫描和步进型曝光工艺来制造具有大面积的母印300,以及将母印300的图案复制在复制品模具400上。在这里,复制品模具400可重复使用多次。此外,如果复制品模具400变得难以再使用,复制品模具400可使用母印300而再制造。

[0125] 图14显示晶片的显微镜图像,在所述晶片上通过根据实施方式的超透镜制造方法来制造超透镜。

[0126] 如显微镜图像中所示,证实了已经适当地制造了约40nm的临界尺寸(CD)的结构体。

[0127] 根据该制造方法,在实验上证实了在4英寸晶片上可批量生产68个超透镜,在6英寸晶片上可批量生产153个超透镜,在8英寸晶片上可批量生产272个超透镜,以及在12英寸晶片上可批量生产669个超透镜。另外,作为对在4英寸晶片上形成的68个超透镜进行缺陷测试的结果,确认了在65个超透镜中没有发现缺陷,即实现约95%的产率。

[0128] 图15显示通过根据实施方式的超透镜制造方法来制造的超透镜的一部分的放大显微镜图像;

[0129] 在附图中所示的扫描电子显微镜(SEM)图像中,标记“a”和“d”的图像显示使用已使用五次的复制品模具获得的结构体。标记“b”和“e”的图像以及标记“c”和“f”的图像显示使用已经分别使用了10次和20次的复制品模具获得的结构体。

[0130] 这些实验结果显示,具有高光学效率的超透镜可通过根据实施方式的制造方法在高产率的情况下批量生产。这些结果尚未报道在现有的超透镜结构体或现有的超透镜制造方法中。

[0131] 例如,在通过打印工艺的现有的超透镜制造方法中,已经报道出,由于在可用于大面积工艺的材料方面的限制,除了对于作为设计的目标波长的特定波长外,光学效率小于或等于50%。

[0132] 为了获得用于改进在可见波长段中超透镜性能的结构体,已尝试通过将具有高折射率的纳米颗粒混合到树脂中来制造超透镜的方法,但以该方法制造的超透镜的产率仅为约50%。这可由在选择适用于混合纳米粒子的树脂材料方面的限制所致。

[0133] 在根据实施方式的制造方法中,不存在将纳米颗粒与树脂混合的工艺,并因此可使用的树脂的自由度增加。例如,可使用具有低表面能和低收缩率的特性的树脂,所述树脂允许在没有额外的表面处理的情况下进行后处理。

[0134] 图16A至17C是显示根据实施方式的超透镜的性能的视图。

[0135] 图16A、16B和16C分别为显示对于具有450nm、532nm和635nm的波长的光的聚焦性能的光强度分布图。

[0136] 图17A、17B和17C分别为对于具有450nm、532nm和635nm的波长的光的聚焦性能以Strehl ratio(SR)表示的图表。

[0137] 可以看出,通过根据实施方式的制造方法制造的超透镜表现出对整个可见波长段中的光的适当的聚焦性能。

[0138] 图18是显示根据实施方式的超透镜的调制传递函数(MTF)的图表。

[0139] 可以看出,测量的MTF非常接近于理想超透镜的MTF。

[0140] 图19示出根据实施方式的超透镜的分辨率性能的视图。

[0141] 超透镜的分辨率测试使用了1951USAF负分辨率目标(resolution target),并证实了对于小于或等于 $3\mu\text{m}$ 尺寸的分辨率是可能的。

[0142] 图20显示根据实施方式的电子装置1000的示意结构。

[0143] 电子装置1000包括显示器件600和超透镜100。电子装置1000可进一步包括控制显示器件600的处理器640。

[0144] 显示器件600提供图像光并且可包括各种已知的显示器件。例如,显示器件600可包括硅上液晶(LCoS)装置、液晶显示(LCD)装置、有机发光二极管(OLED)显示器件和数字显微镜装置(DMD)。此外,显示器件600可包括下一代显示器件,诸如微LED和QD(量子点)LED。

[0145] 由显示器件600提供的图像光可包括二维图像或三维图像。三维图像可包括例如立体图像、全息图像、光场图像或一体式摄影图像(integral photography image),并且可还包括多视图或超多视图图像。

[0146] 超透镜100可在用户的视场上形成图像光的图像,所述图像光从显示器件600提供。用户可将显示器件600提供的图像感知为漂浮在一定位置处的虚拟图像平面(VP)上的放大图像600a。所述虚拟图像平面VP的位置和所述图像被放大的放大倍率由超透镜100的焦距、用户的眼睛与超透镜100之间的距离 d_e 以及超透镜100与显示器件600之间的距离来确定。视场FOV可由用户的眼睛与超透镜100之间的距离 d_e 以及超透镜100的有效直径 a_1 来确定。

[0147] 电子装置1000可用作虚拟现实装置并以眼睛可穿戴形式提供。

[0148] 图21示出在实验上显示根据实施方式的超透镜可应用于虚拟现实装置的照片。

[0149] 图21所示的照片是通过以下获得的:形成通过微显示器漂浮的屏幕的图像,使用超透镜,以及随后用手机捕获所述图像。

[0150] 图22显示根据另一实施方式的电子装置2000的示意结构。

[0151] 电子装置2000包括提供图像光IL的显示器件600和在用户的视场上形成图像光IL的图像的超透镜100。电子装置2000可进一步包括放置在图像光IL被引导至用户的视场所通过的路径上的分束器700和控制显示器件600的处理器650。

[0152] 分束器700可改变图像光IL朝向用户的视场的路径的方向。分束器700还可将来自用户的周围环境ENV的环境光EL向用户的视场进行传输。分束器700可包括半镜或偏振分束器。取决于分束器700的类型,可在图像光IL的路径或环境光EL的路径上提供额外的光学元件。

[0153] 例如,处理器650可控制显示器件600以基于用户正在观看的环境输出额外的图

像。

[0154] 用户将从显示器件600提供的图像光IL感知为漂浮在放置在用户的前方的一定距离处的虚拟图像平面VP上的放大图像,并且还可感知环境光EL。

[0155] 该电子装置2000可用作增强现实设备。

[0156] 图23显示根据另一实施方式的电子装置3000的示意结构。

[0157] 电子装置3000包括:包括超透镜100的透镜组装件800,将由透镜组装件800形成的对象OBJ的光学图像转换为电信号的图像传感器900,和处理来自图像传感器900的信号的图像信号处理器950。

[0158] 透镜组装件800可进一步地包括超透镜100以外的额外的透镜单元850。透镜单元850可包括一个或多个透镜,并且所述一个或多个透镜可包括一般折射透镜或超透镜。

[0159] 超透镜100的位置不限于附图中所示的位置,并且可改为透镜组装件800内部的任何合适位置或透镜单元850内部的任何合适位置。

[0160] 上述超透镜可以对于可见波长段中的光的高效率运行。

[0161] 根据上述超透镜制造方法,可批量生产超透镜,并且还可改进工艺产率。

[0162] 根据上述超透镜制造方法,在为压印工艺选择各种UV固化性树脂方面具有高的自由度。

[0163] 应理解,本文所描述的实施方式应仅在描述性意义上考虑,而不是出于限制的目的。每个实施方式内的特征或方面的描述应典型地被认为可用于其它实施方式中的其它类似特征或方面。虽然通过参考图已描述了一个或多个实施方式,但本领域普通技术人员将理解,可在不背离由以下权利要求所限定的本公开内容的精神和范围的情况下,在实施方式中进行形式和细节方面的各种变化。

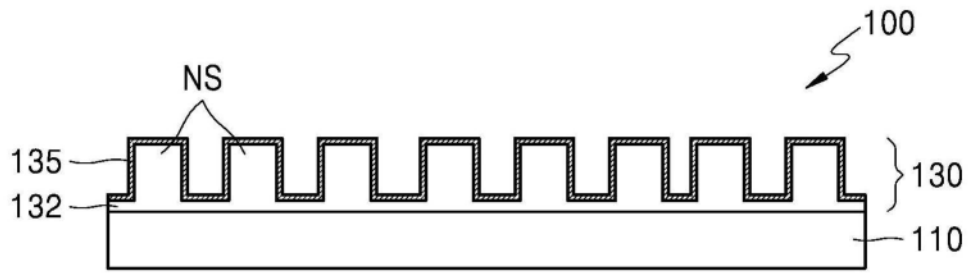


图1

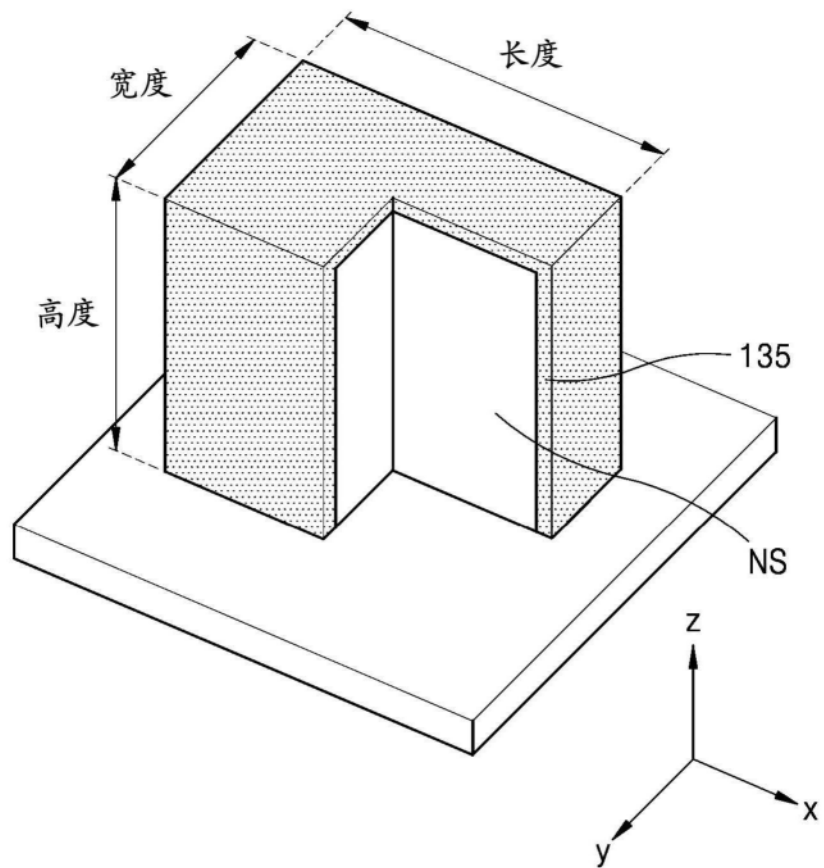


图2

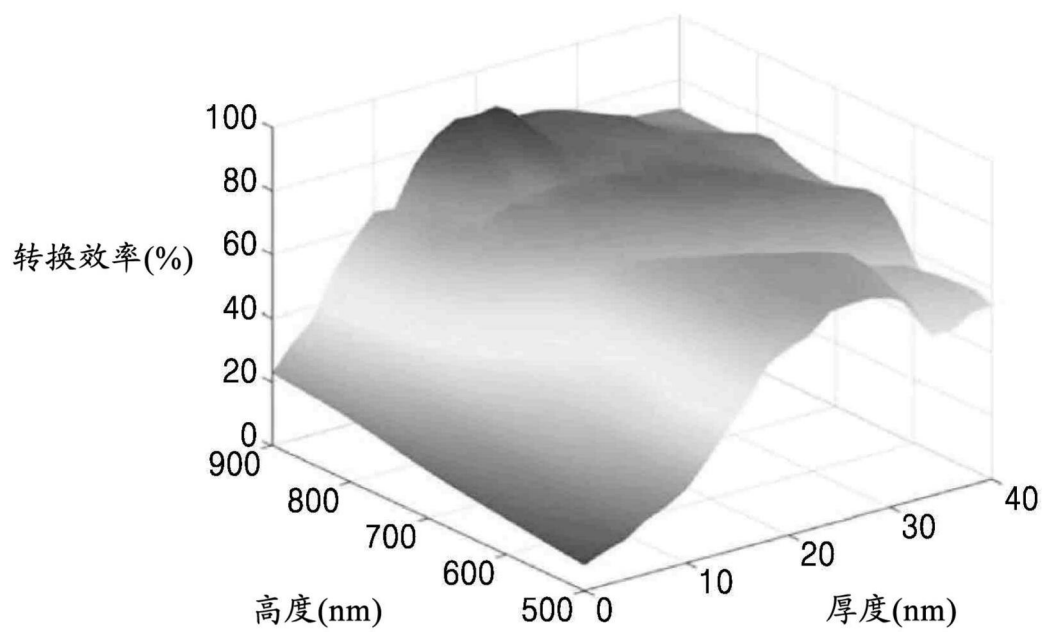


图3

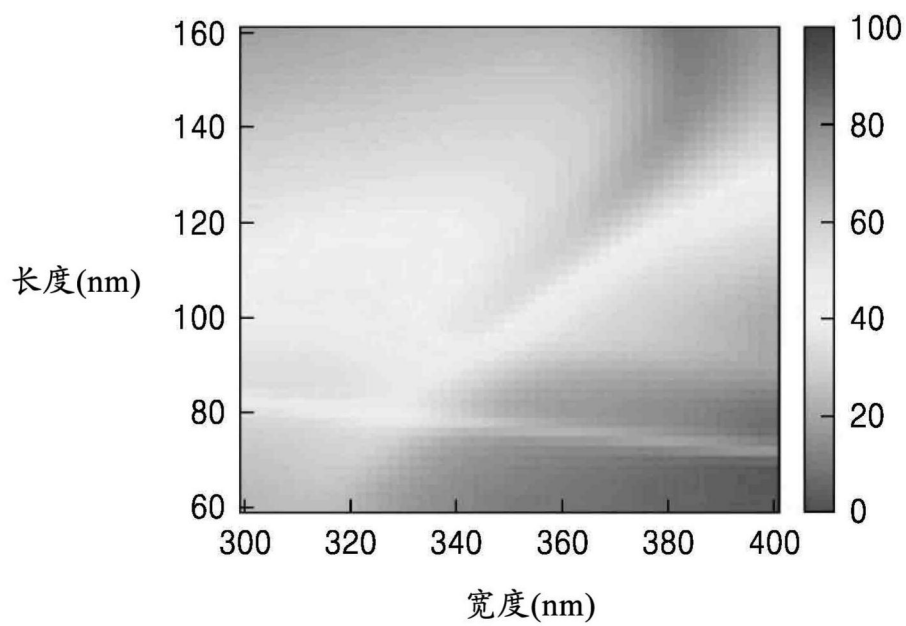


图4

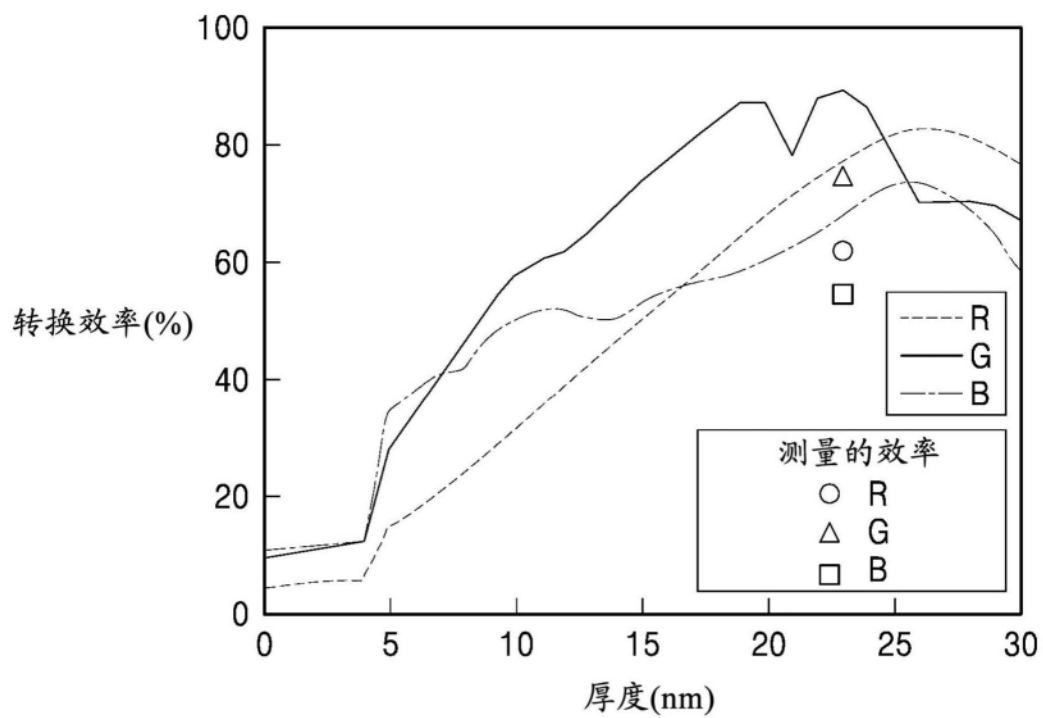


图5

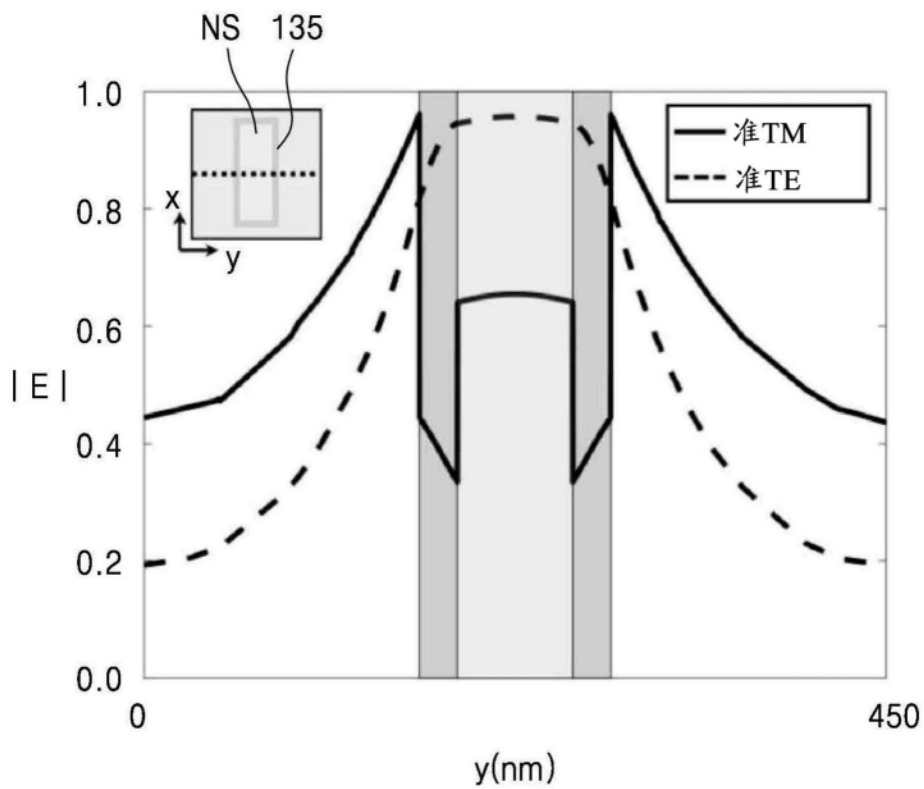


图6

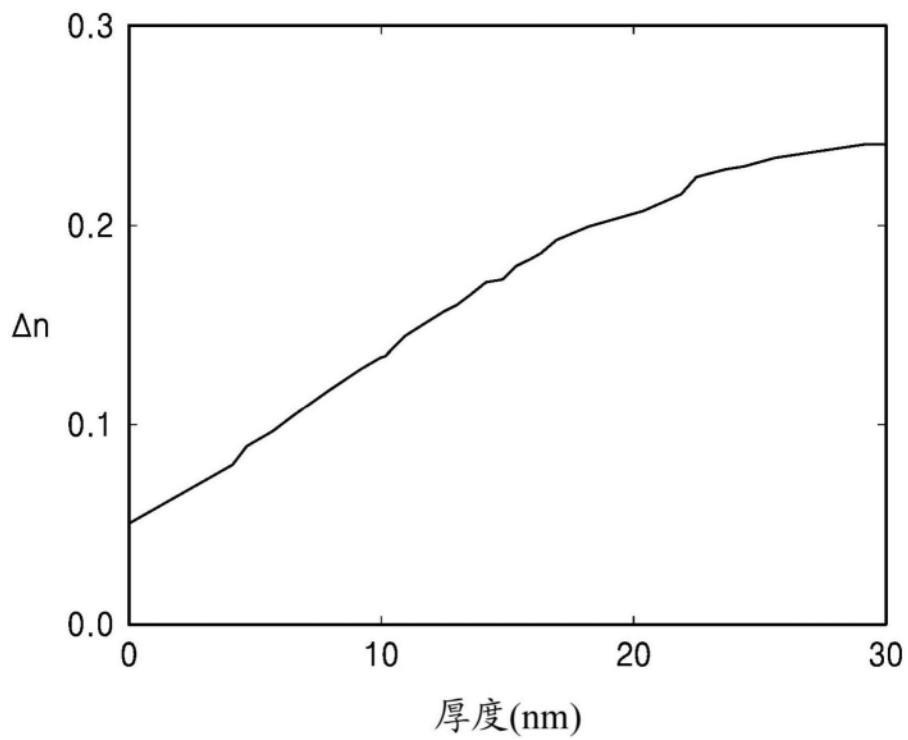


图7

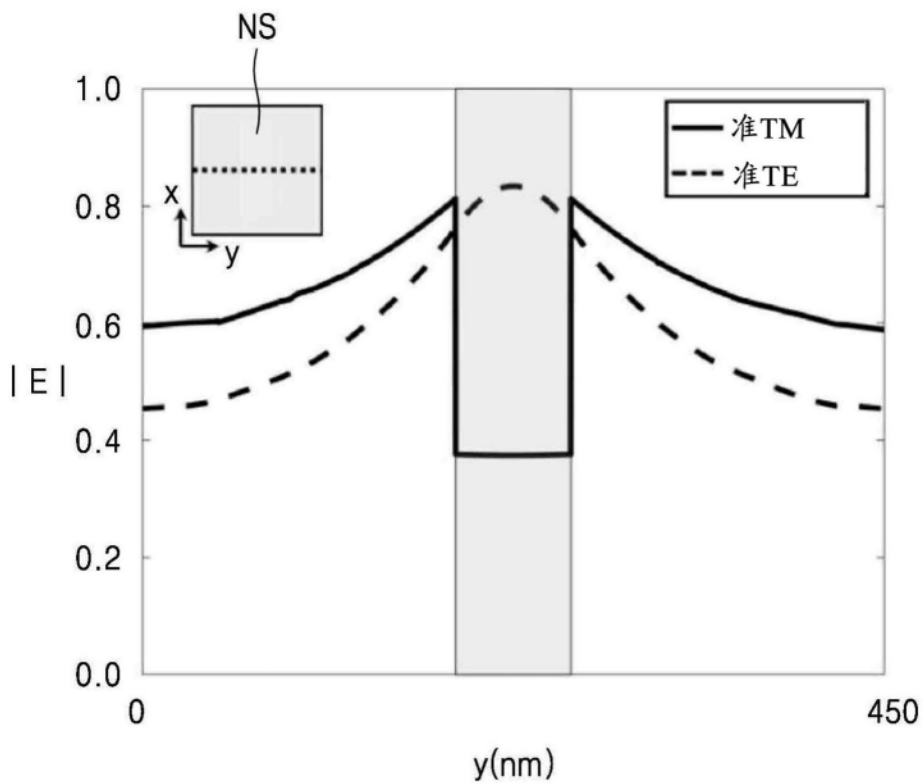


图8

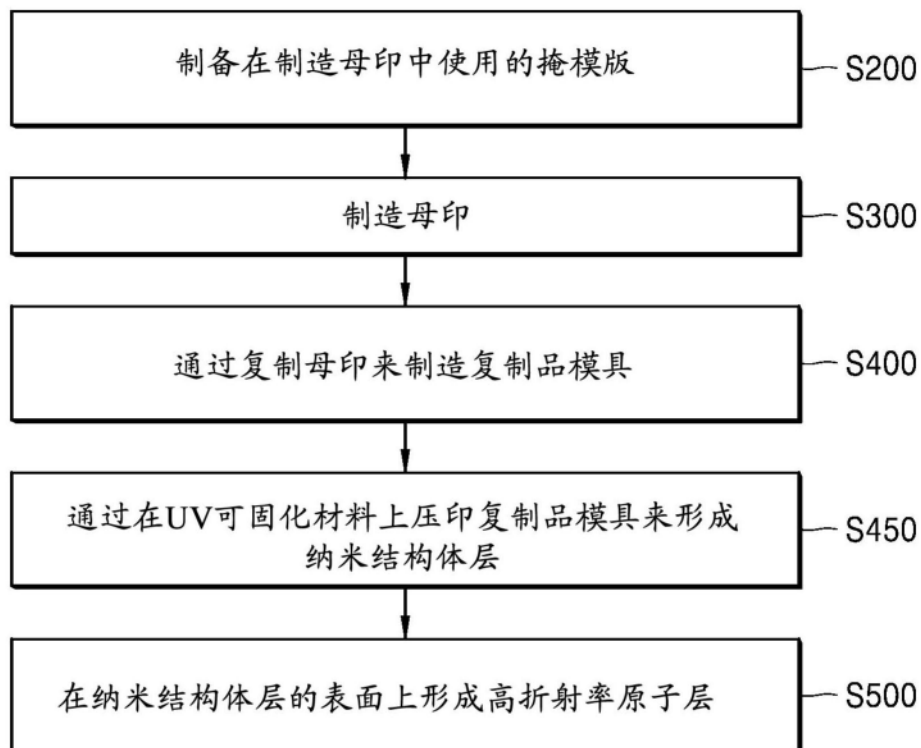


图9

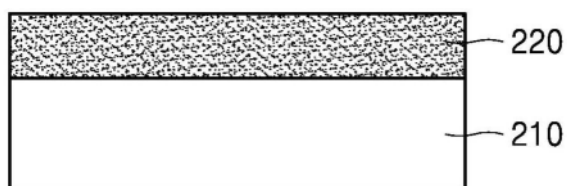


图10A

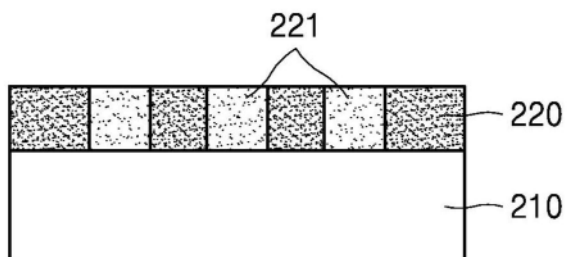


图10B

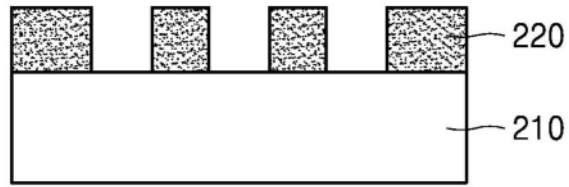


图10C

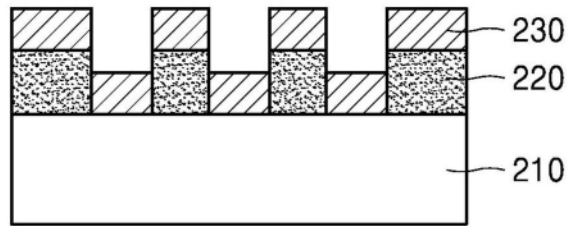


图10D

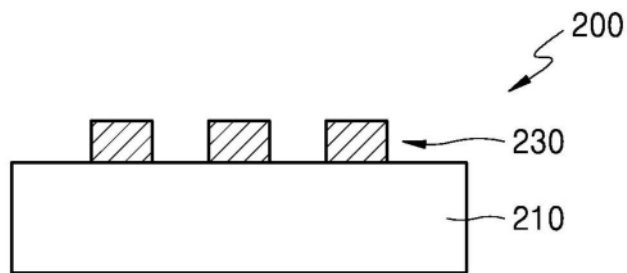


图10E

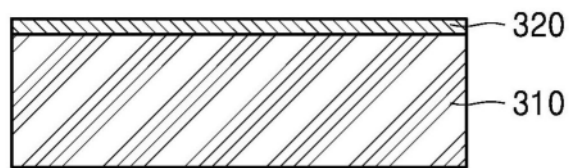


图11A

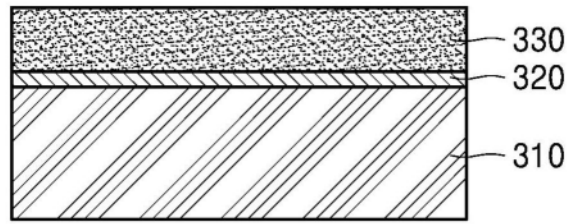


图11B

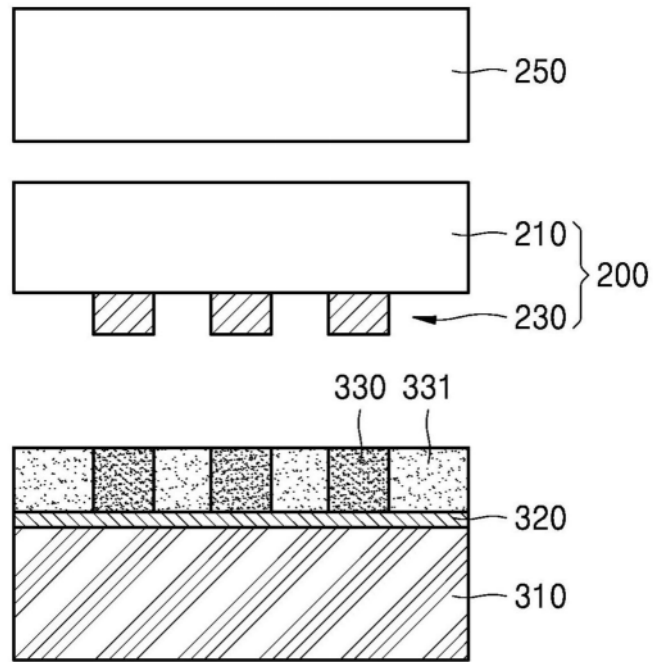


图11C

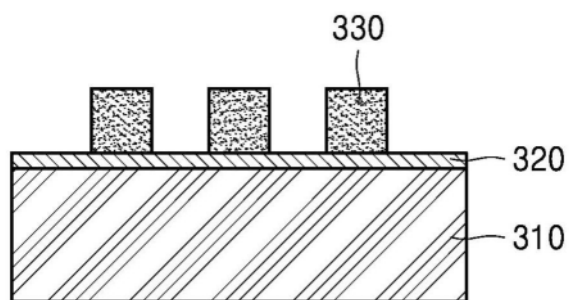


图11D

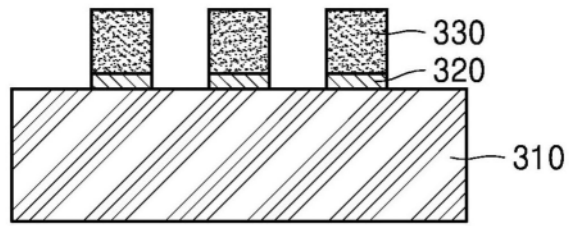


图11E

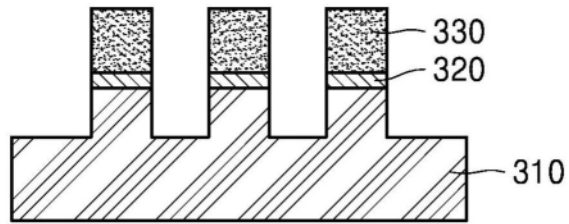


图11F

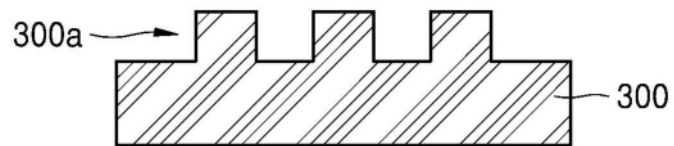


图11G

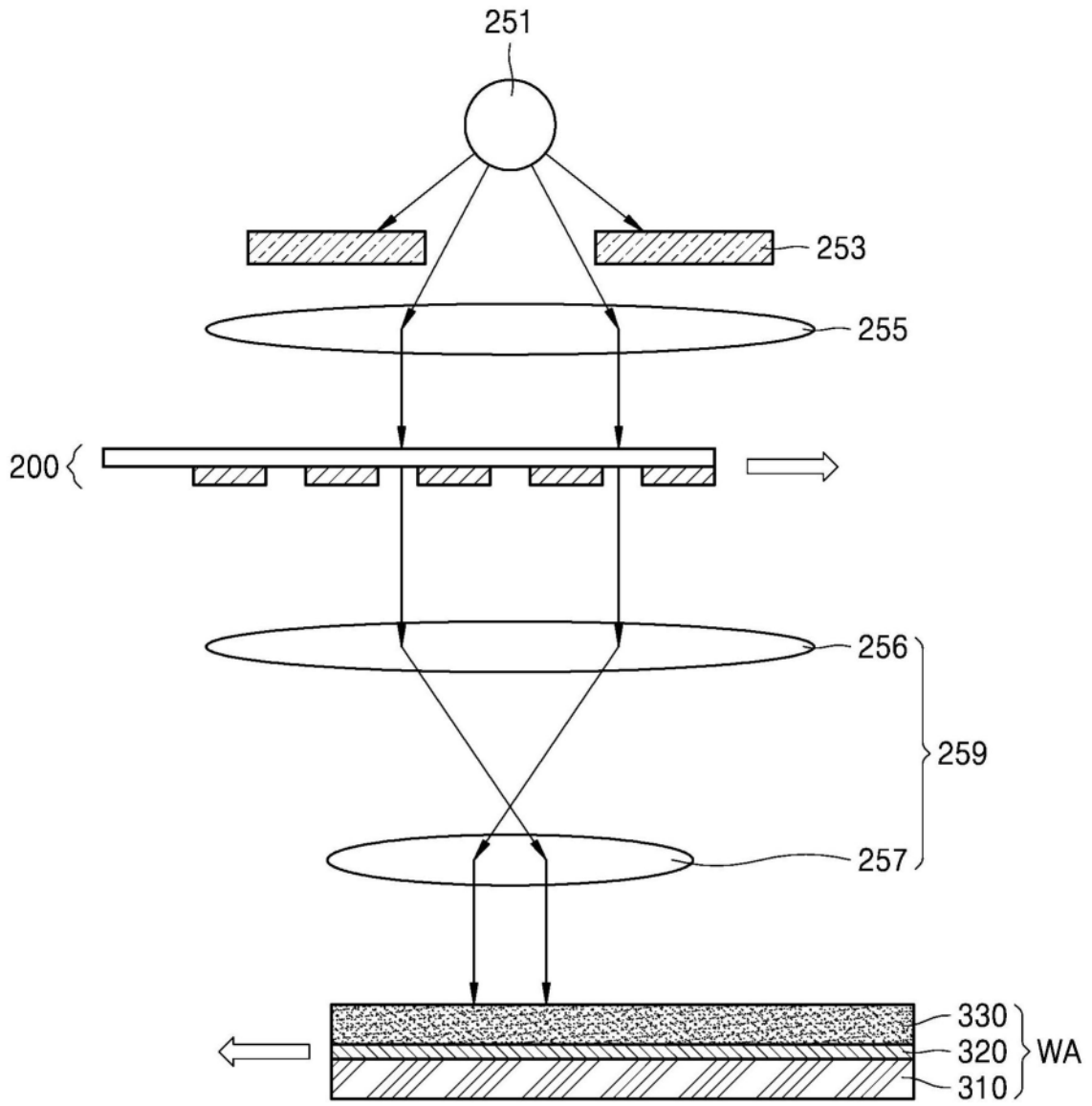


图12A

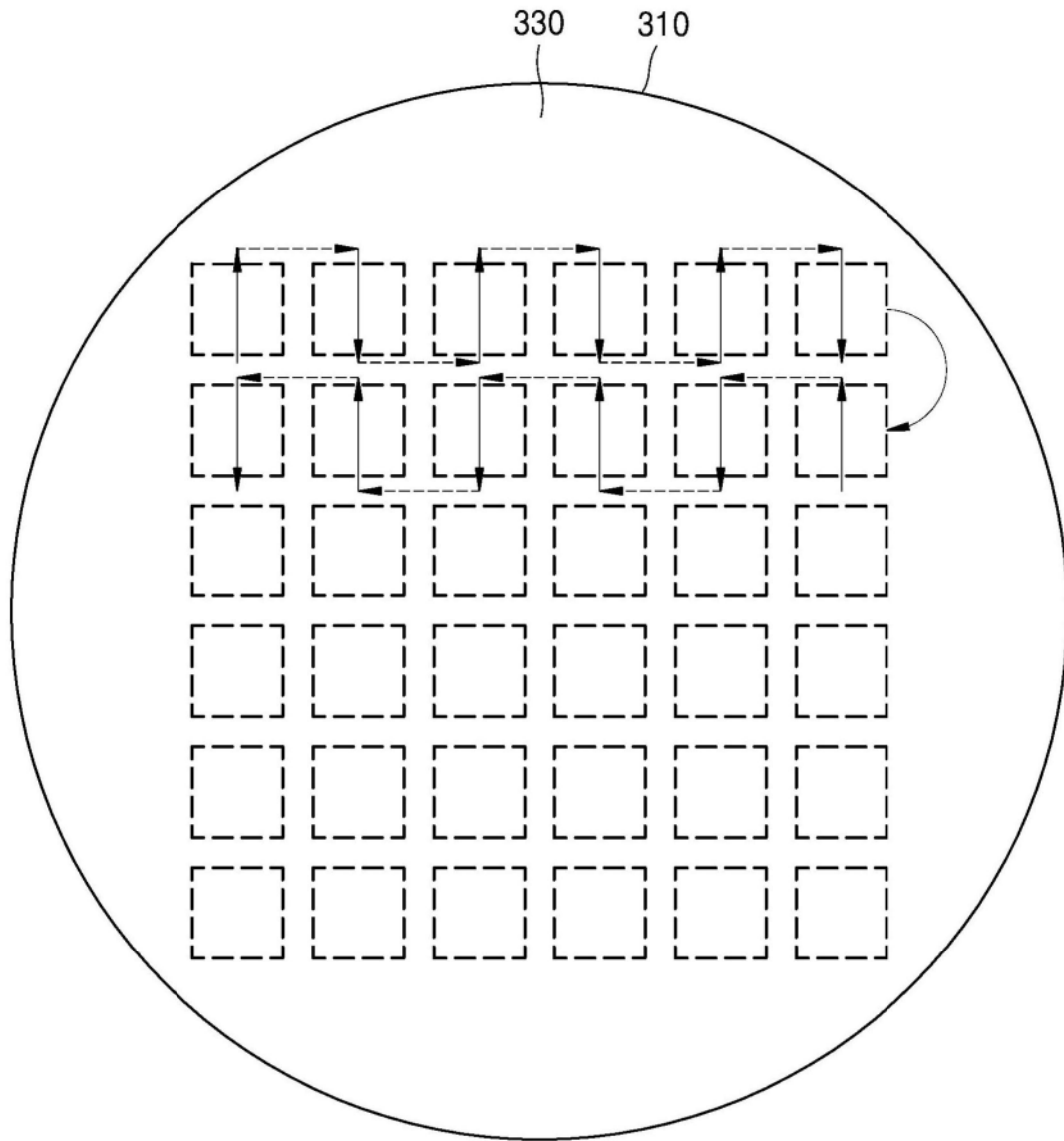


图12B

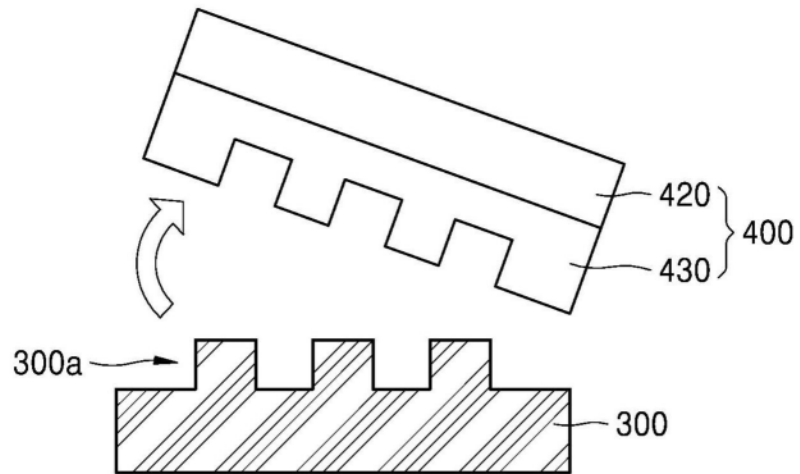


图13A

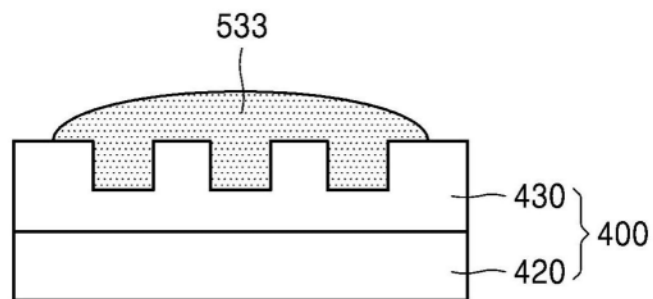


图13B

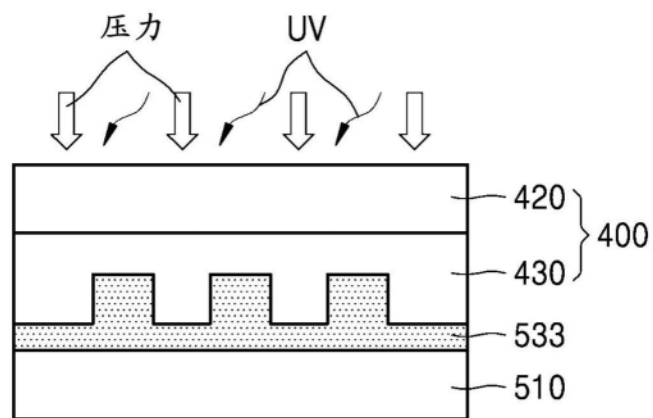


图13C

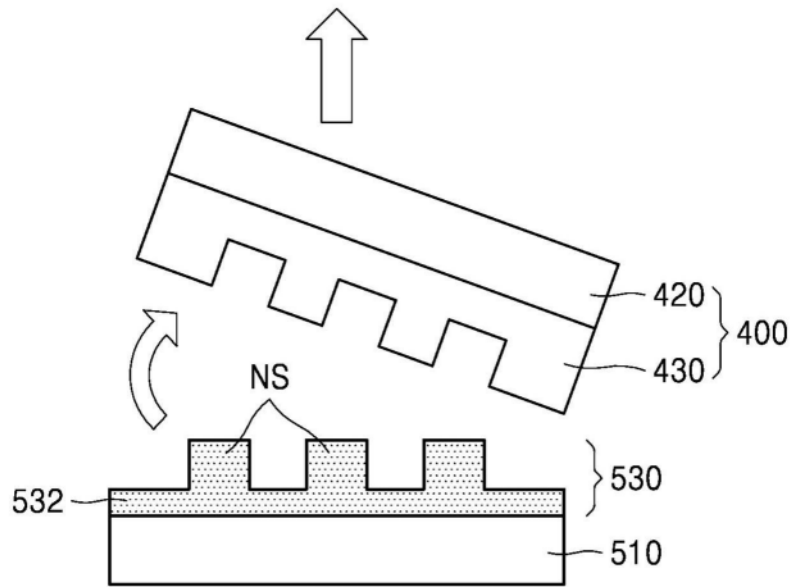


图13D

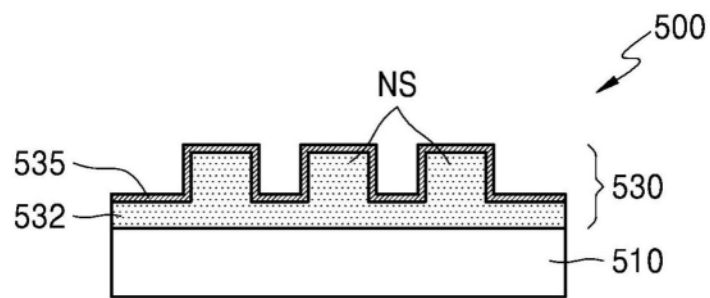


图13E

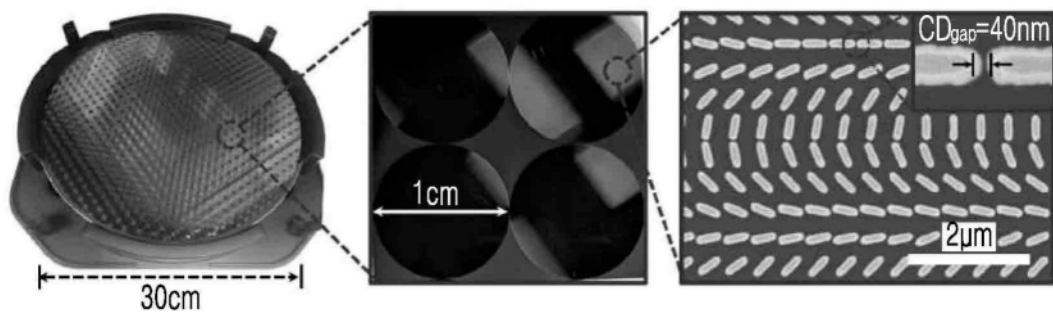


图14

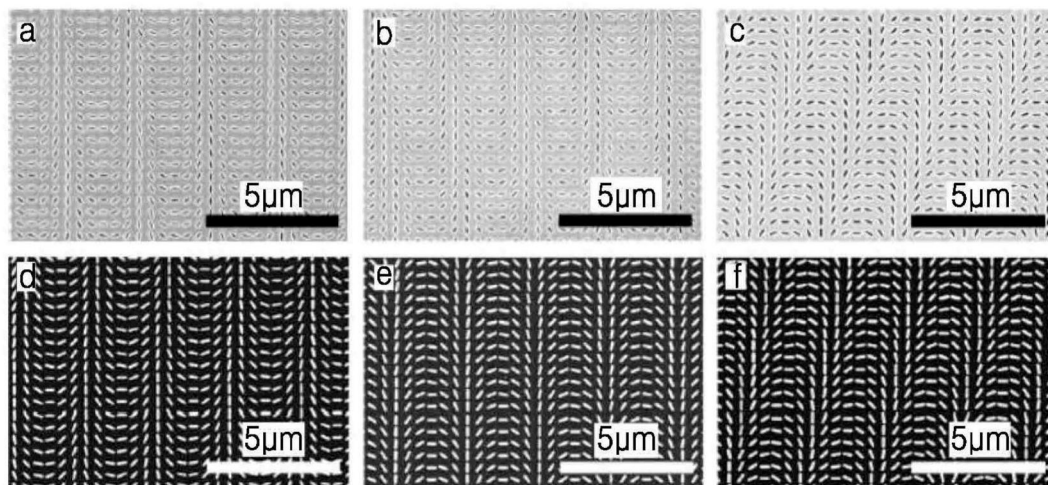


图15

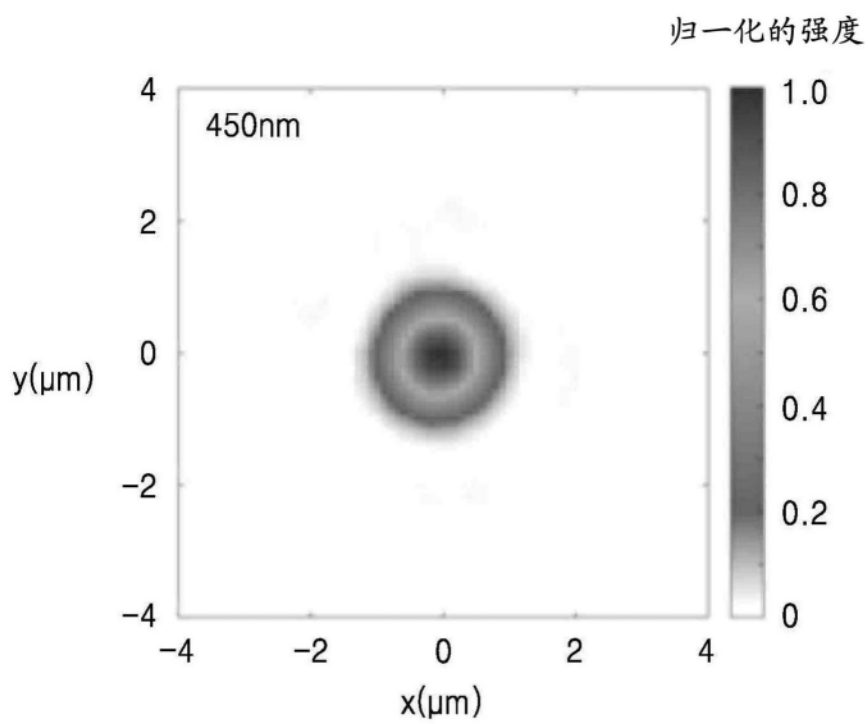


图16A

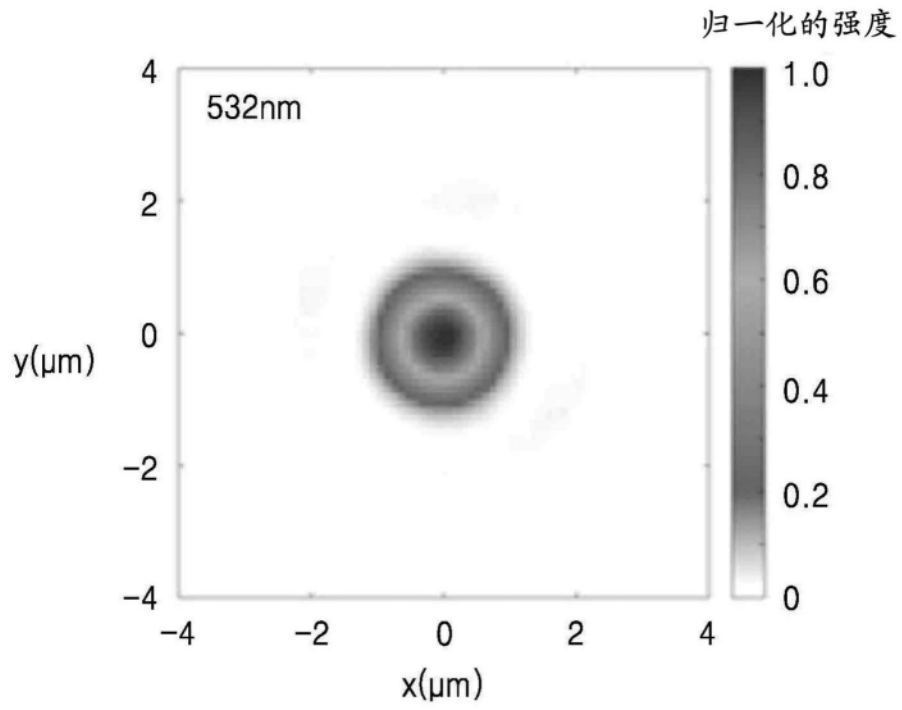


图16B

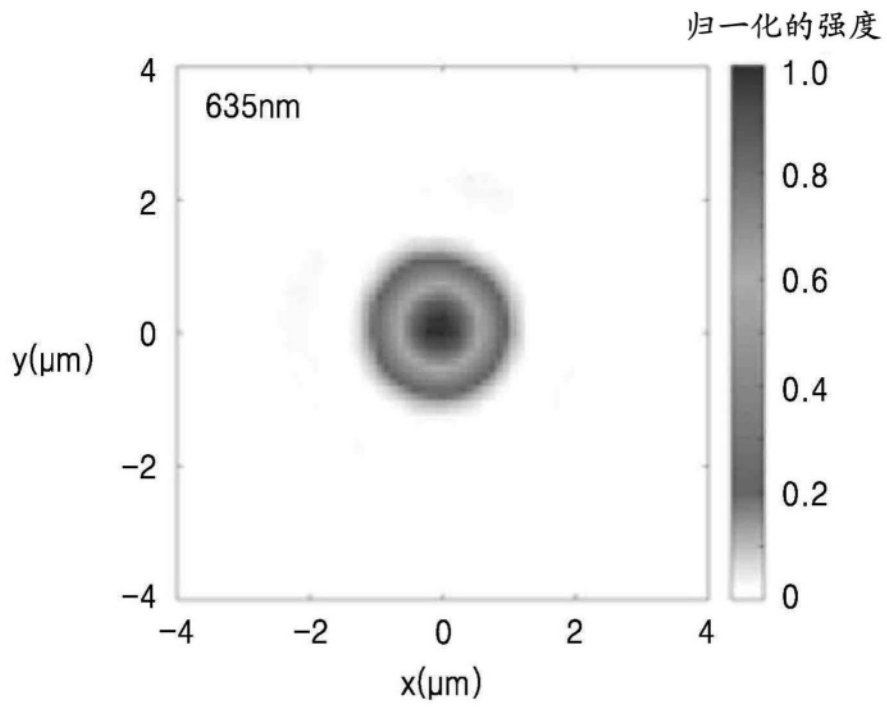


图16C

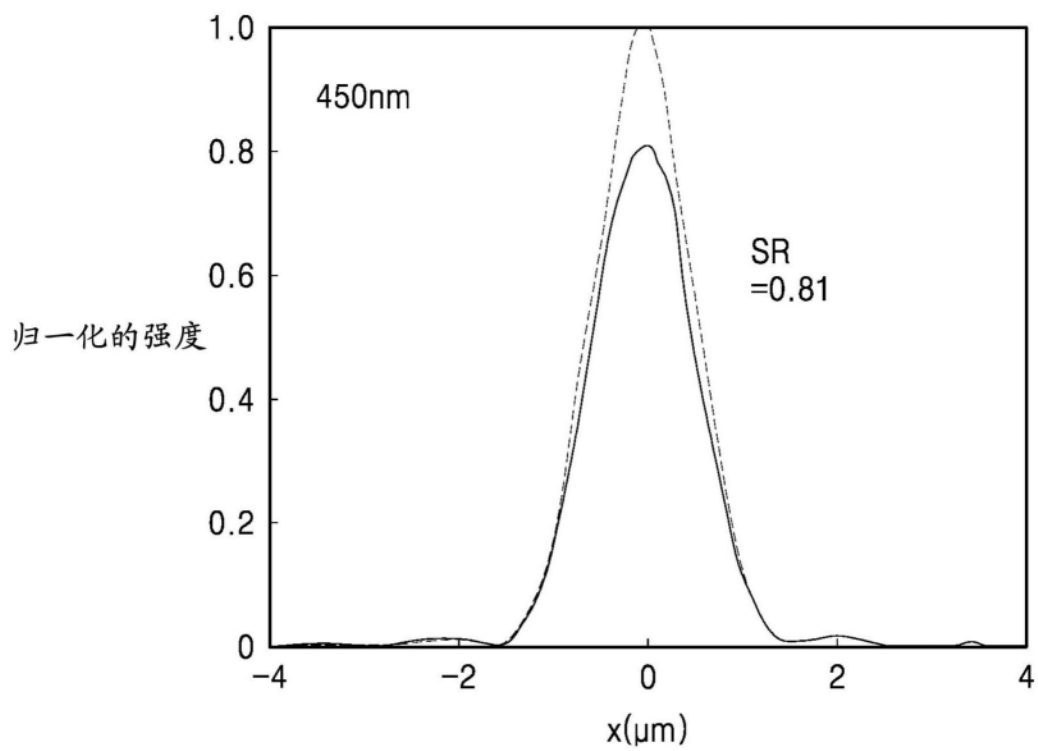


图17A

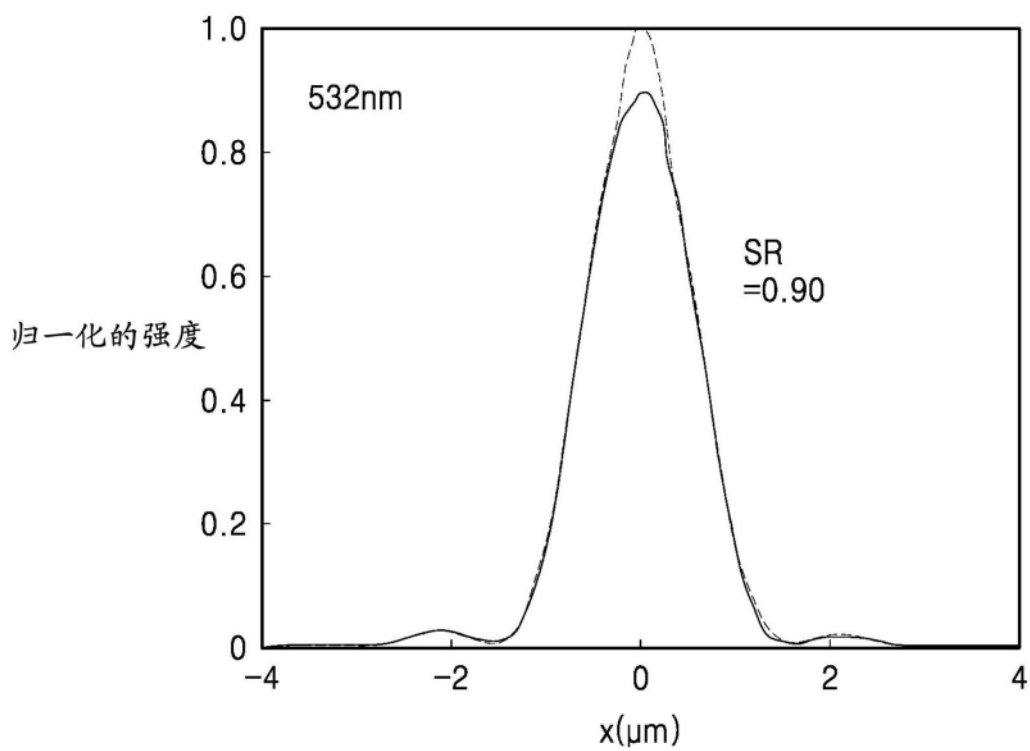


图17B

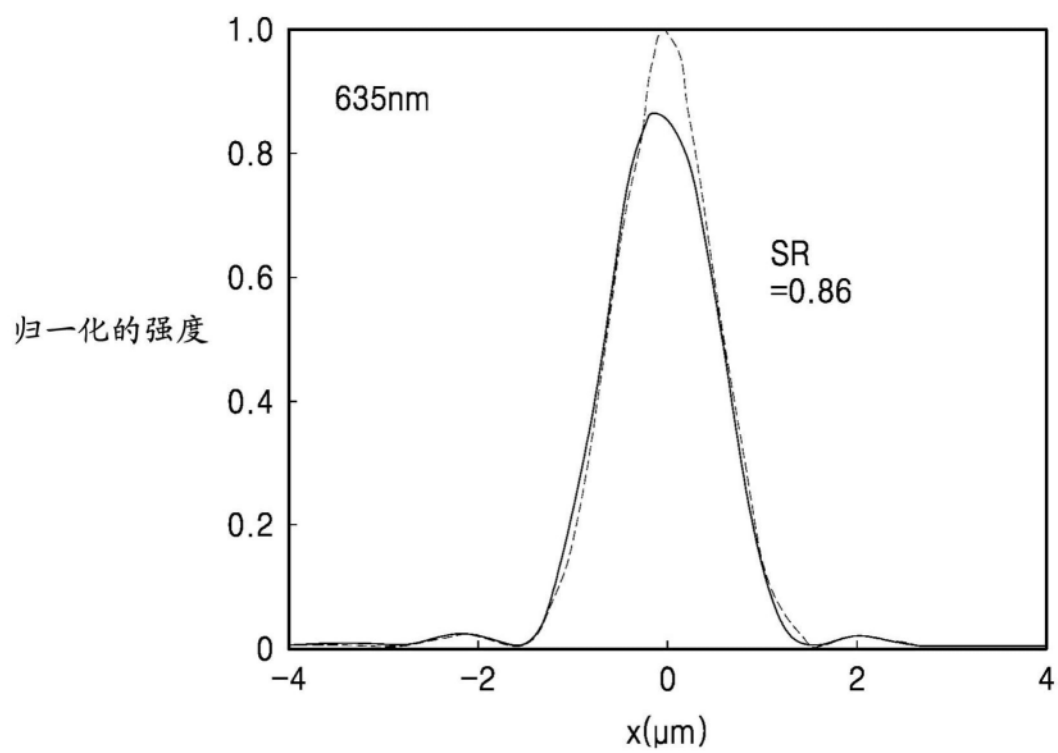


图17C

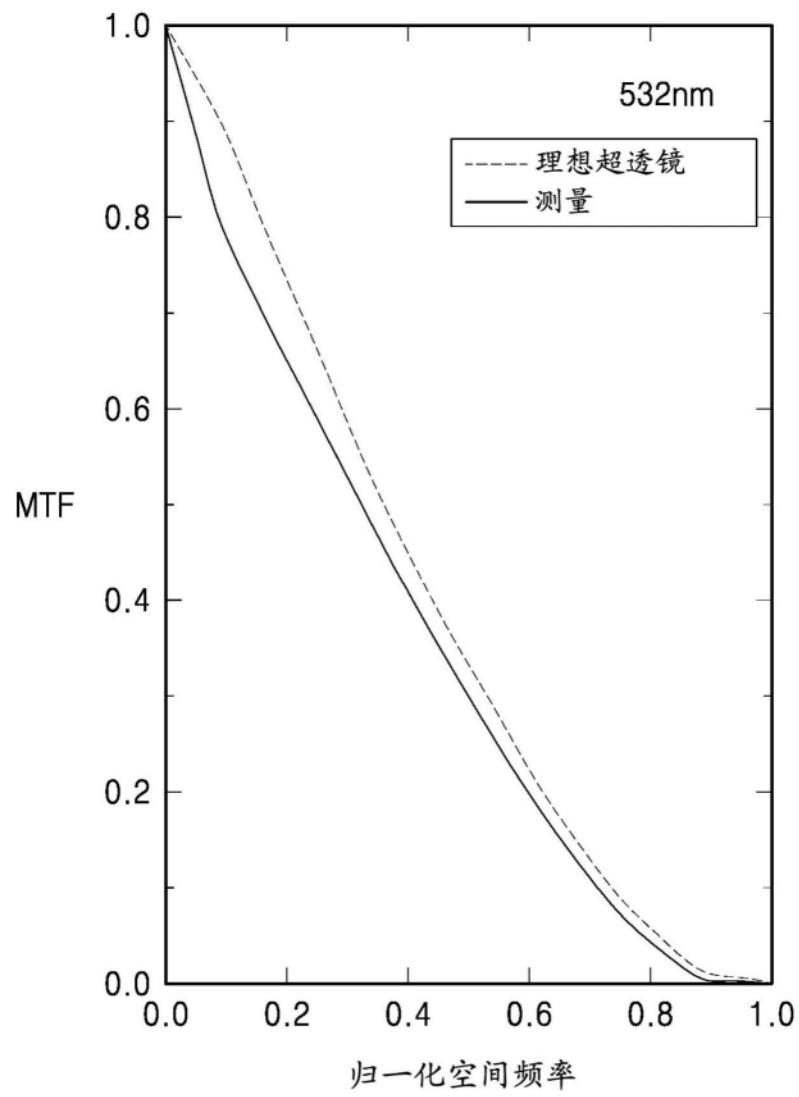


图18

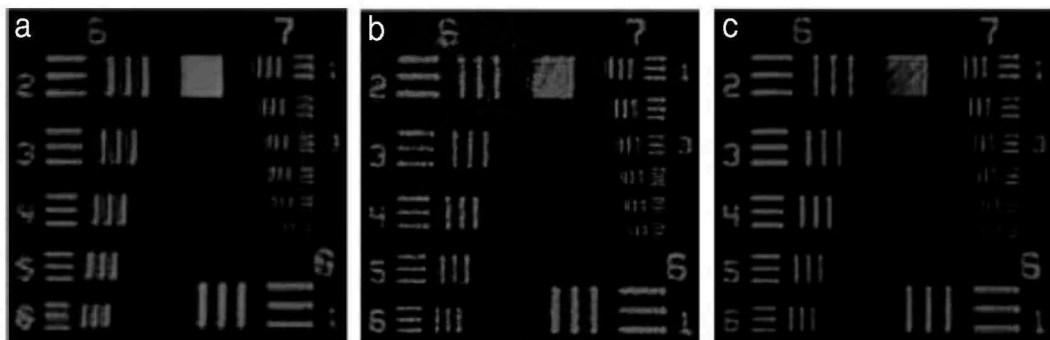


图19

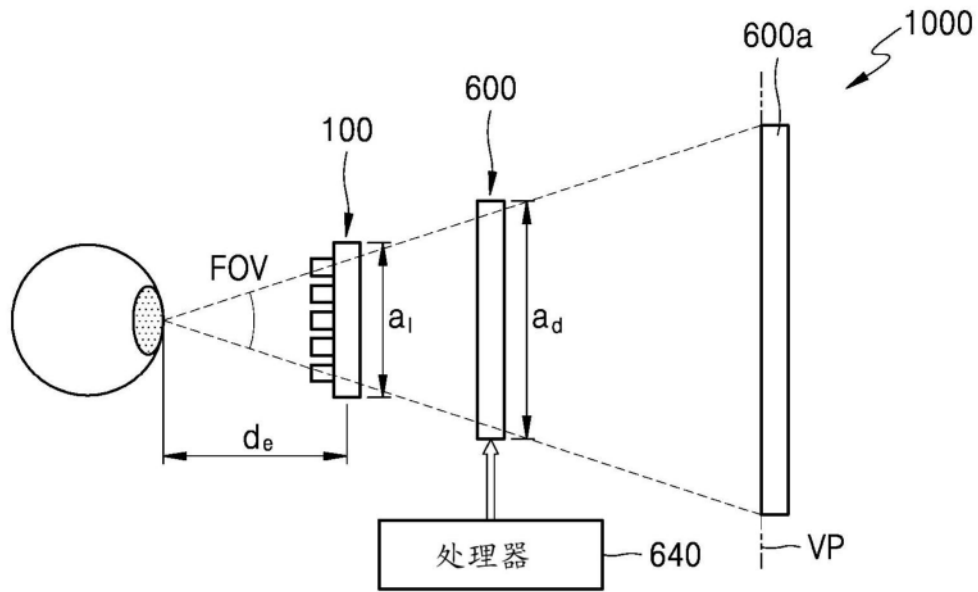


图20

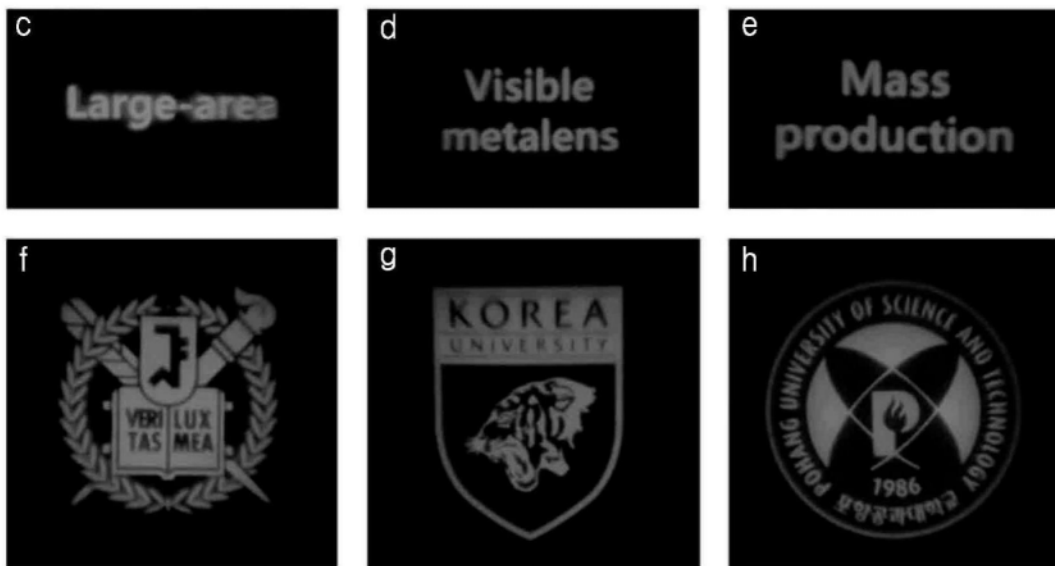


图21

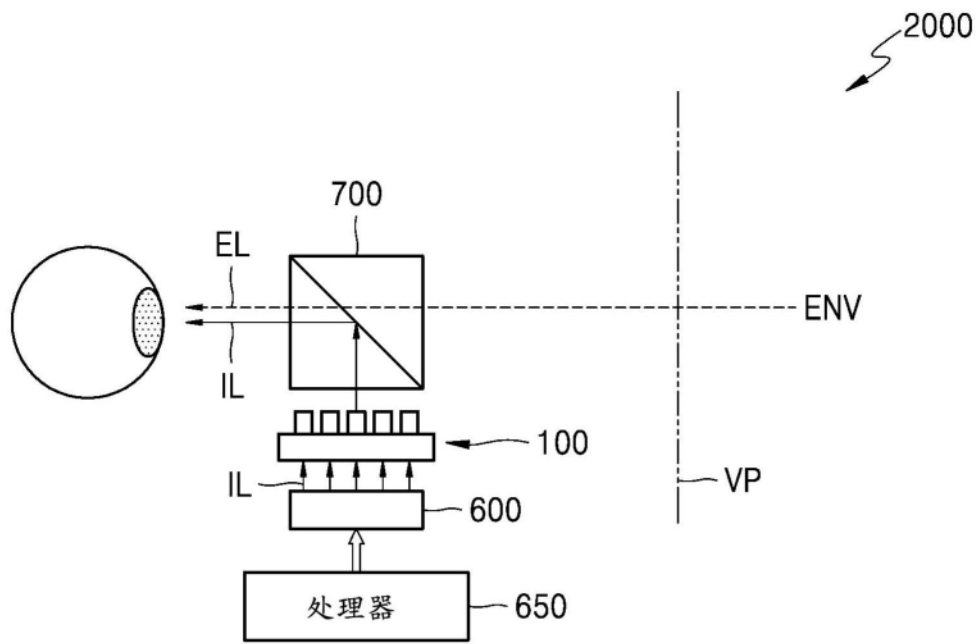


图22

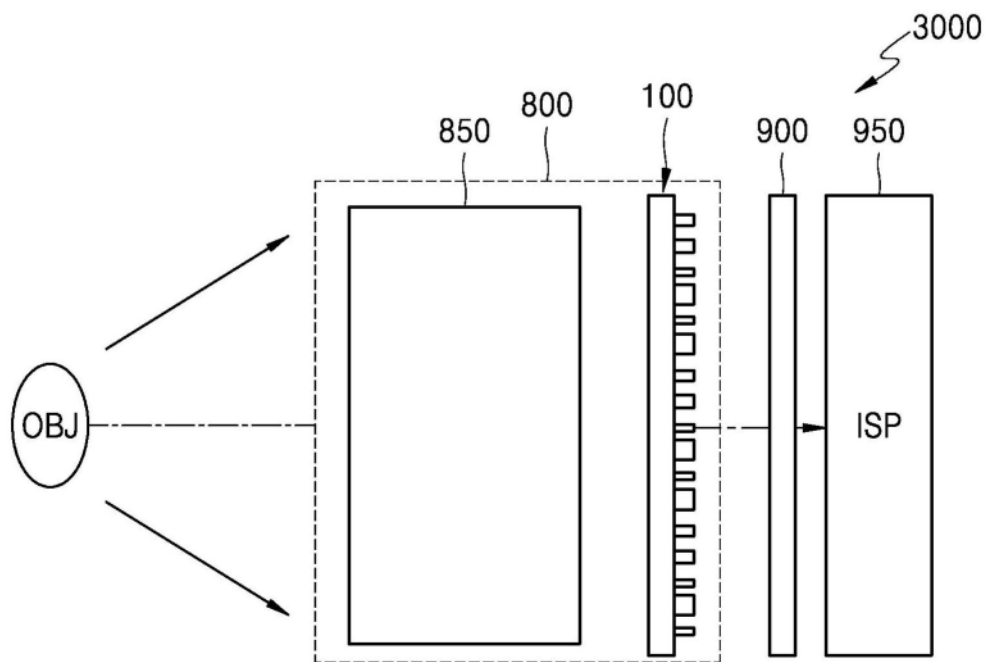


图23