



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104849903 B

(45)授权公告日 2020.03.03

(21)申请号 201510087626.5

(22)申请日 2015.02.25

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104849903 A

(43)申请公布日 2015.08.19

(30)优先权数据
61/941,528 2014.02.19 US

(73)专利权人 朗美通运营有限责任公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 基思·安德森
约翰·迈克尔·米勒 海利·戴杰
田鲁

(74)专利代理机构 北京安信方达知识产权代理
有限公司 11262
代理人 陆建萍 郑霞

(51)Int.Cl.

G02F 1/1335(2006.01)

G02F 1/1343(2006.01)

G02F 1/1333(2006.01)

(56)对比文件

CN 101063757 A,2007.10.31,
US 2013070326 A1,2013.03.21,
CN 101611341 A,2009.12.23,
US 6124919 A,2000.09.26,
CN 202748579 U,2013.02.20,
JP H06160822 A,1994.06.07,
CN 101989012 A,2011.03.23,

审查员 陈宝鑫

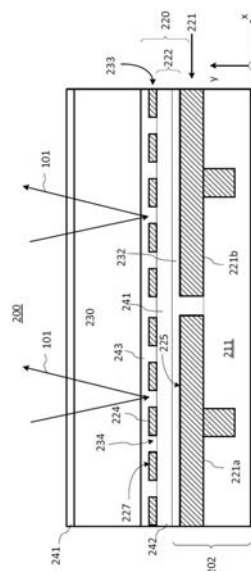
权利要求书2页 说明书10页 附图8页

(54)发明名称

包括薄膜金属光栅的反射式液晶器件

(57)摘要

本发明公开了一种亚波长薄膜金属光栅,其被置于液晶相位可变延迟器内,其与反射式电极相距所选的距离,以形成反射式半波片,由此降低该相位可变延迟器所产生的光相位延迟的偏振相关性。此方法可在器件内形成适当薄的反射式半波片,而不需要对器件的反射式电极进行改动。



1. 一种液晶LC器件,包括:
具有反射顶面的第一电极;
设置在所述第一电极的所述反射顶面上以及所述第一电极和亚波长金属光栅之间的隔离层,其中
所述隔离层在所述液晶LC器件的工作波长上实质上为透明,
所述隔离层的光学厚度实质上为所述工作波长的四分之一;以及
设置在所述隔离层上的所述亚波长金属光栅,所述亚波长金属光栅包括多个平行的金属条带,所述金属条带相互间隔开,并从由所述隔离层所限定的预定距离处沿所述第一电极的所述反射顶面延伸由此与所述第一电极的所述反射顶面形成反射式形式双折射波片;
设置在所述亚波长金属光栅上的液晶层;以及
设置在所述液晶层上方的与所述第一电极相对的第二电极,其中所述第二电极在所述工作波长上为透明使得当在所述第一电极与所述第二电极之间施加电压时,所述液晶层会对入射到所述第二电极上的光赋予可变的光学相移。
2. 如权利要求1所述的液晶LC器件,还包括:
设置在所述多个平行的金属条带上方的光栅盖层,用于为所述液晶层提供平表面。
3. 如权利要求2所述的液晶LC器件,其中所述光栅盖层包括延伸到所述多个平行的金属条带之间的间隙内的电介质材料。
4. 如权利要求1所述的液晶LC器件,其中所述多个平行的金属条带包括比所述隔离层薄的薄膜金属条带。
5. 如权利要求1所述的液晶LC器件,其中所述隔离层具有厚度,所述厚度为从所述第二电极入射到所述亚波长金属光栅上的光提供目标光相位延迟。
6. 如权利要求1所述的液晶LC器件,其中所述亚波长金属光栅的节距在 $0.6\mu\text{m}$ 至 $1.0\mu\text{m}$ 范围内,每个所述多个平行的金属条带的宽度在 $0.2\mu\text{m}$ 至 $0.4\mu\text{m}$ 范围内,厚度在 $0.03\mu\text{m}$ 至 $0.07\mu\text{m}$ 范围内。
7. 如权利要求1所述的液晶LC器件,其中所述隔离层包括设置在所述第一电极上的电极钝化层和设置在所述电极钝化层上的间隔层。
8. 如权利要求1所述的液晶LC器件,其中所述液晶层的指向矢与所述亚波长金属光栅的所述多个平行的金属条带成锐角,由此降低所述液晶LC器件对光的偏振状态的灵敏度。
9. 如权利要求1所述的液晶LC器件,其中所述第一电极包括多个被电极间隙隔开的可独立寻址的像素电极。
10. 如权利要求9所述的液晶LC器件,还包括:
支承所述第一电极的基底,其中所述基底包括用于对每个所述多个可独立寻址的像素电极独立施加电压的电路,以及其中所述多个平行的金属条带之间具有位于所述电极间隙上方的间隙,以对所述亚波长金属光栅的位于所述多个可独立寻址的像素电极的相邻的像素电极上方的部分进行电绝缘。
11. 一种用于制造液晶LC器件的方法,所述方法包括:
在基底的顶面上沉积透光材料的间隔层,
所述基底包括具有平顶面的第一电极和设置在所述第一电极的平顶面上方以形成所述基底的所述顶面的电极钝化层,

所述间隔层和所述电极钝化层的组合光学厚度实质上为工作波长的四分之一,以及所述间隔层位于所述第一电极和亚波长金属光栅之间;

在所述间隔层上形成所述亚波长金属光栅,所述亚波长金属光栅包括多个平行的间隔开的金属条带;

在所述亚波长金属光栅上沉积光栅盖层;

在所述光栅盖层上设置包括指向矢的液晶层;以及

在所述液晶层上设置与所述第一电极相对的透明的第二电极,使得当在所述第一电极与所述透明的第二电极之间施加电压时,所述液晶层会对入射到所述第二电极上的光赋予可变的光学相移。

12. 如权利要求11所述的方法,其中沉积所述间隔层包括:

沉积一定厚度的所述间隔层,所述厚度被选择为使得所述间隔层和所述电极钝化层具有所述组合光学厚度,所述组合光学厚度为从所述透明的第二电极入射到所述亚波长金属光栅上的光提供实质上为半波片的双程延迟。

13. 如权利要求11所述的方法,其中形成所述亚波长金属光栅包括:

在所述间隔层上沉积金属膜;以及

使所述金属膜图案化,以形成所述多个平行的间隔开的金属条带。

14. 如权利要求11所述的方法,其中形成所述亚波长金属光栅包括:

使用剥离工艺形成所述多个平行的间隔开的金属条带。

15. 如权利要求11所述的方法,其中所述电极钝化层和所述间隔层由选自 SiO_2 、 Si_3N_4 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 Ta_2O_5 和 HfO_2 所组成的组中的相同透光材料制成。

16. 如权利要求12所述的方法,其中进一步包括:

基于所述电极钝化层的厚度和由所述第一电极和所述亚波长金属光栅形成的反射波片的目标延迟值来确定所述间隔层的目标厚度。

17. 如权利要求11所述的方法,其中

所述第一电极包括多个由电极间隙隔开的像素电极,

所述基底包括CMOS基底,所述CMOS基底包括用于对所述像素电极进行独立寻址的电路,并且

形成所述亚波长金属光栅包括:

在所述电极间隙上方的所述平行的间隔开的金属条带之间形成间隙,使得所述平行的间隔开的金属条带的被直接设置在相邻的所述像素电极上方的部分相互间为电绝缘。

18. 如权利要求11所述的方法,其中形成所述亚波长金属光栅包括:

形成所述多个平行的间隔开的金属条带以获得节距在 $0.6\mu\text{m}$ 至 $1.0\mu\text{m}$ 范围内所述亚波长金属光栅,每个所述平行的间隔开的金属条带的宽度在 $0.2\mu\text{m}$ 至 $0.4\mu\text{m}$ 范围内,厚度在 $0.03\mu\text{m}$ 至 $0.07\mu\text{m}$ 范围内。

19. 如权利要求11所述的方法,其中

所述电极钝化层的厚度在 $0.05\mu\text{m}$ 至 $0.15\mu\text{m}$ 范围内,

所述间隔层的厚度在 $0.1\mu\text{m}$ 至 $0.25\mu\text{m}$ 范围内,以及

形成所述亚波长金属光栅包括沉积厚度在 $0.03\mu\text{m}$ 至 $0.07\mu\text{m}$ 范围内的金属膜。

包括薄膜金属光栅的反射式液晶器件

技术领域

[0001] 本发明涉及液晶器件,具体而言,涉及基于反射式液晶的光调制器和采用形式双折射波片的相位可变延迟器,以及它们的制造方法。

背景技术

[0002] 采用液晶的光学器件在业内已为人所熟知,并已用于多种应用场合,包括用以形成可变的光相位延迟和/或改变光束偏振状态的光相位调制器和相位可变延迟器。反射式液晶器件可以采用成熟的硅基液晶(LCoS)技术方便地制成。在一种典型的硅基液晶中,几微米(μm)厚的液晶层被夹在透明电极与反射式电极之间,后者在硅基底上形成,该硅基底还具有驱动器件所需的电路。当对电极施加电压时,电极之间的电场会影响高度各向异性的液晶分子的取向。场诱导液晶分子的取向会改变液晶层对入射光束的有效折射率,这会以某种取决于光的偏振的方式影响穿过液晶层传播的光束的光学相位。当入射到透明电极上的光束沿液晶分子的取向的优势方向(其被称为“指向矢”)或与之垂直的方向被线性偏振时,器件的液晶层在不改变光束偏振的条件下对光束施加可变的光相位延迟,且这两个正交的偏振的相移值不同。当入射光束以与液晶指向矢成锐角的方向线性偏振时,液晶层可以改变光束的偏振状态;例如,它可以通过在沿液晶指向矢方向和垂直于液晶指向矢的方向的光束的偏振分量之间引发光学相位差,由此转动线性光偏振。

[0003] 通过在常规液晶层下方布置可独立控制的像素电极的阵列,可以构造出相位可变延迟器或相位调制器的阵列。当线性偏振的光束照射该阵列时,可对光束施加预定的光学相位模式,在没有任何运动部件的条件下,实现光束的可变聚焦或转向。相位可变延迟器阵列已在光束扫描/转向、光学像差校正等方面有多种应用。

[0004] 在入射光的偏振状态未被准确控制的应用场合中,液晶可变相位延迟器和光相位调制器对光束偏振的灵敏性可能是一个缺点。可通过在两个电极之间加入四分之一波片的方式克服或减轻此灵敏度。位于反射式液晶器件的反射式电极处的四分之一波片以双程方式作为半波片工作,在光穿过液晶层的来往行程的一半处,将光的偏振状态切换为正交的偏振。在这种布置中,沿液晶指向矢方向或与之垂直的方向线性偏振的光,一次以其原始偏振状态和一次以其正交偏振状态穿过液晶层,至少在理论上形成一种与偏振状态无关的工作方式。

[0005] 此解决方案的一个缺点是,在液晶器件的电极之间添加波片会增加电极之间的距离,由此会提高器件的工作电压。例如,典型的石英四分之一波片比典型的液晶层要厚很多,因此添加它会使所需工作电压超出翻倍的水平。此外,此类波片难以被加入到硅基液晶内。对于用于液晶器件的常规波片,具备高折射率对比度的形式双折射(FB)亚波长光栅可能代表了一种更好的替代品;可参见诸如14/547,183号美国专利申请。例如,针对在 $\lambda=1.55\mu\text{m}$ 下工作的四分之一波片,可采用厚度在1微米量级的基于气隙的FB结构实现。然而,这些结构可能因为其易碎性而难以商业化生产。作为替代方式,具有方波的反射模式亚波长金属光栅或类似的浮雕可被用作波片。尽管它们所需的浮雕深度小于基于交替电介质的

FB光栅,在LCOS像素电极的表面上实现它们还是会使LCoS加工工艺大大复杂化,并会降低器件产量。

[0006] 相应地,可以理解的是,涉及降低反射式液晶器件的偏振灵敏度以及涉及可能被包括在此类器件中的光波片的现有解决方案和技术可能存在着显著的问题和缺点。

发明内容

[0007] 本发明的一个目的是提供一种包括形式双折射结构的改进型或替代型反射式液晶器件,例如相位可变延迟器或光相位调制器。

[0008] 根据本公开内容,在诸如相位可变延迟器等液晶器件内部、在平坦反射式电极与液晶(LC)层之间设置亚波长金属光栅,其光栅线采用平行的、间隔开布置的金属条带的形式,并且采用所选小厚度的透光不导电隔离层将反射式电极与金属光栅隔开。亚波长金属光栅与反射式电极一起在反射中充当薄的半波片,这样可以降低液晶器件的偏振灵敏度,而不需要改动反射式电极。形成亚波长金属光栅的金属条带可以是薄金属膜的条带。

[0009] 本公开内容的一个方面涉及一种液晶器件,其包括:具有反射顶面的第一电极;设置在第一电极的反射顶面上的隔离层,其中隔离层在液晶器件的工作波长上实质上为透明;设置在隔离层上的亚波长金属光栅,亚波长金属光栅由多个平行的金属条带构成,金属条带彼此隔开,并从由隔离层所限定的预定距离处沿第一电极的反射顶面延伸,以与第一电极的反射顶面形成反射式形式双折射(FB)波片;设置在亚波长金属光栅上的液晶层;以及设置在液晶层上方的与第一电极相对的第二电极,其中第二电极在所述工作波长上为透明,使得当在第一电极与第二电极之间施加电压时,液晶层会对入射到第二电极上的光赋予可变的光学相移。

[0010] 本公开内容还提供了一种用于制造相位可变延迟器的方法,其包括:

[0011] a) 在基底的反射顶面上沉积透光材料的间隔层,该基底包括具有平的顶面的第一电极和设置在第一电极的平的顶面上方以形成基底的反射顶面的电极钝化层;

[0012] b) 在间隔层上形成亚波长金属光栅,亚波长金属光栅包括多个平行的、间隔开的金属条带,使得亚波长金属光栅与基底的反射顶面形成具有预定延迟的反射式形式双折射波片;

[0013] c) 在亚波长金属光栅上沉积光栅盖层;

[0014] d) 在光栅盖层上沉积具有指向矢的液晶(LC)层;以及

[0015] e) 在液晶层上沉积与第一电极相对的透明的第二电极,使得当在第一电极与第二电极之间施加电压时,液晶层会对入射到第二电极上的光赋予可变的光学相移。

[0016] 根据本公开内容的一个方面,间隔层的厚度可被选择为使得间隔层与电极钝化层的组合光学厚度为从第二电极入射到亚波长金属光栅上的光提供基本为半波片的双程延迟。

附图说明

[0017] 对于本文所公开的示例实施例,将参照附图进行更详细的说明,附图中相同的编号指代相同的元件,且其中:

[0018] 图1A为采用波纹反射器的反射式形式双折射(FB)波片的示意侧视图;

- [0019] 图1B为图1A中反射式FB波片的示意透视图；
- [0020] 图2为采用被光耦合到平面反射器的亚波长金属光栅的反射式FB波片的示意侧面横截面图；
- [0021] 图3为具有由亚波长金属光栅形成的反射式FB波片的液晶(LC)器件的侧面横截面图；
- [0022] 图4为具有在多个像素电极上延伸的光栅线的图3中的液晶器件的一个实施例的顶视图；
- [0023] 图5为在相邻像素电极之间的光栅线中有间隙的图3中的液晶器件的一个实施例的顶视图；
- [0024] 图6为使用平面反射器制造反射式FB波片的方法的流程图；
- [0025] 图7为具有在平的LCoS基底上形成的反射式FB波片的液晶器件的一个单元的侧面横截面图；
- [0026] 图8为示出一个示例生产过程的各个步骤中的液晶器件的侧面横截面图的示意图；
- [0027] 图9为在一个实施例中,制造图8中的液晶器件的一种示例方法的流程图。

具体实施方式

[0028] 在以下说明中,为进行解释而非限制的目的,阐述了特定的细节,例如特定的光学和电气部件、组件、技术、材料等,以提供对本发明的透彻理解。然而,本领域技术人员应可显见,本发明可以以与这些具体细节不同的其他实施例实现。在其他实例中,对已为人所熟知的方法、器件、部件和电路的详细说明被省略,以免对本说明造成模糊。应注意,除明确声明处之外,本文中所使用“第一”、“第二”等术语并不意味着排序,而只是用以将一个元件与其他元件加以区别。术语“透明”或“透光”等指对于波长为目标工作波长的光基本透明。术语“亚波长”在与光栅同时使用时,是指有小于目标工作波长的节距或周期。本文所使用的术语“光栅”不一定意味着具有准确的周期性,其涵盖光栅线的间距在整个光栅上变化的光栅;在此类非周期性或准周期性光栅中,除非另有说明外,术语“节距”指光栅线的中心之间的平均距离。尽管本介绍内容在说明时结合了各种实施例和示例,但这并不意味着本介绍内容将局限于这些实施例。相反,本介绍内容涵盖本领域技术人员可以理解的各种替代方式、改动和等效方式。

[0029] 参见图1A,其中示出了一种反射式形式双折射(FB)波片(WP)110的截面侧视图。FB WP 110由亚波长反射光栅111和透光盖层113组成。在图1B中以透视图示出的反射光栅111体现为金属层、金属板或金属片,在其一面上形成有多个平行的直脊115。在图1B中,这些脊被示为沿笛卡儿坐标系(x,y,z)的“z”坐标延伸。其之间有凹槽117的脊115以小于波片的工作波长 λ 的周期或节距p生成周期性波纹状反光表面119。可以由电介质等透明材料形成的可选层113可以覆盖住金属光栅111,并可选地充填凹槽117。

[0030] 在工作中,入射到FB WP 110上的光束101被从亚波长金属光栅111的波纹状反光表面119反射回来,并具有取决于入射光束的偏振状态的相位延迟。也就是说,沿脊115的光(即图1B中的“z”轴线性偏振的光)在经光栅111反射后,将与在正交于脊115的方向的光(即沿图1B中的“x”轴方向线性偏振的光)具有不同的相位延迟。其中光的电场沿脊115(或基本

沿光栅的光栅线)的方向的光偏振在本文中被称为TE (Transverse Electric, 横向电场) 偏振, 而其中电场沿垂直于光栅脊115 (或基本垂直于光栅的光栅线) 的方向的光偏振在本文中被称为TM (Transverse Magnetic, 横向磁场) 偏振。

[0031] 以长度或入射光波长为单位测得的TE偏振与TM偏振之间的反射相位延迟之差在本文中可被称为波片延迟。FB WP 110的延迟值取决于脊115的深度 d 、其宽度 a 与凹槽117的宽度 b 之比 a/b 、或“填充因子” a/p , 以及光栅周期或节距 $p = (a+b)$ 与入射光束101的波长 λ 之比 p/λ , p/λ 优选小于1。当以波长为单位测量时, FB WP 110的延迟通常约为 $2dn/\lambda$ 或稍小, 其中 n 为盖层113的折射率。

[0032] FB WP 110的一个缺点是, 反射光栅111的金属表面119的波纹状浮雕难以制造, 至少在某些应用场合中是如此。例如, 按照通过参考并入本申请的2013/0070326号美国专利申请所述而在基于LCoS的光调制器或相位可变延迟器的金属电极表面上实现波纹状浮雕119, 可能会大大增加常规LCoS制造工艺的复杂程度。

[0033] 现在参见图2, 其中示出了根据本公开内容的一个实施例的反射式FB WP 120的侧视图。WP 120包括具有反射顶面125的基底121和设置在基底121的反射顶面125上方的隔离层122。在一个优选实施例中, 基底121的反射顶面125基本为平面, 不过这并非必要的要求。隔离层122由一种透光的不导电材料 (即在波片的工作波长 λ 处实质上为透明的材料) 形成; 例如, 它可以由合适的介电材料形成, 例如二氧化硅 (SiO_2)、氮化硅 (Si_3N_4) 等。在隔离层122上方设置亚波长金属光栅133, 它可能对第一线性偏振基本透射, 而对与第一线性偏振正交的第二线性偏振基本反射。亚波长金属光栅133可能采用金属栅格的形式, 平行的光栅或栅格线124沿基底121的反射顶面125在所选的方向延伸。在反射光栅133上方可能会再设置可选的盖层126。在一个优选实施例中, 金属光栅133的光栅线124采用多个间隔开布置的平行金属条带的形式, 金属条带可能采用薄膜金属条带的形式。相应地, 亚波长金属光栅133在本文中也可被称为薄膜金属光栅133, 金属条带124也可被称为薄膜金属条带。本文中在提及光栅或光栅的一部分时使用的术语“薄膜”是指该光栅或其一部分由厚度比将其与下层反射器隔开的隔离层更薄的薄膜或层形成。在典型实施例中, 薄膜金属条带124的厚度 t 129可能在 0.1 至 $0.02\mu\text{m}$ 范围内。在一个优选实施例中, 金属条带124的横截面基本为矩形。在其他实施例中, 金属条带124可以有非矩形的横截面。

[0034] 关于FB WP 120的反射性质, 应该指出, 入射光不会穿透进导电金属板的非常薄的顶层之外, 因此随着薄金属膜的厚度增加到超出该顶层的厚度 (通常为 10 – 20nm), 并根据金属的导电性, 薄金属膜的反射率会很快接近块体金属的反射率。举例而言, 一个 20nm 的薄铝 (Al) 膜在 $\lambda \sim 1.5\mu\text{m}$ 处可达到 90% 以上的反射率。相应地, 在来自FBWP110的光栅“齿”115的侧面的反射不显著时的垂直或接近垂直入射的情况下, 当将光栅“齿”115除最顶部分之外全部替换为电介质时, FBWP 110的反射性质应保持大致不变, 由此可得到图2所述类型的结构。因此, 在相同的光栅节距 p 、填充因子 $f = b/p$ 和WP“深度” d 值下, 只要金属条带124的厚度 t 充分超出入射光射入金属条带的有效穿透深度 (通常为 10 – 20nm), FB WP 120的反射性质应与FBWP 110的类似。TE偏振被金属光栅133反射的效率比TM偏振更高, 其可能主要通过金属条带124之间的开口被透射, 并从下方的基底121的反射顶面125上被反射。

[0035] 相应地, 沿条带124、即垂直于图2平面的方向线性偏振的入射光束101的TE偏振光在从FB WP 120反射时, 将经历与在正交于条带124方向 (即沿图2中的“x”轴方向) 线性偏振

的TM偏振光不同的、通常为更小的相位延迟,由此形成反射式FB WP 120的非零延迟。此延迟的值N取决于条带124的光反射表面与基底121之间的距离,此距离在本文中也称为WP深度,包括取决于隔离层的厚度d和折射率n。它还取决于电介质“填充因子” b/p ,其中b为相邻光栅线124之间的开口的宽度, $p=(a+b)$ 为光栅的节距,还可能取决于光栅节距与入射光束101的波长 λ 之比 p/λ ,以及条带124的厚度t 129和条带124之间的盖层126的折射率。对于 $t \ll d$ 的情况,当以长度为单位测量时,反射式FB WP 120的延迟可以按照隔离层122的光学厚度的大约2倍即 $2d \cdot n$ 进行大致估算,其中n为隔离层122的折射率。相应地,对于一个给定的波片延迟的目标值N,隔离层122的光学厚度 $n \cdot d$ 可被选择为约 $N/2$,具体取决于电介质填充因子f。

[0036] 有利的是,在具有类似平镜的反射表面、包括钝化金属(即具有覆盖金属表面的透光材料盖层)的平镜面的任何器件或结构上均可添加或在其中形成图2所示类型的FBWP。由于隔离层122可有效地将金属光栅133与下层基底或晶片的平镜面125隔离,后者不需要被改动,且反射式FB WP和具有平镜面的下层结构的生产可以在不同的地点或设施中进行,和/或可在稍后的时间进行。

[0037] 现在参见图3和4,其中示出了在内部包含图2所示类型的反射式FB波片220的一种液晶(LC)器件200的侧面横截面图。液晶器件200包括基底或晶片202和在基底202内部或其上形成的第一电极221,第一电极221具有反射顶面225。在一个优选实施例中,第一电极221的反射顶面225在光栅节距量级上基本为平面,但也可以构想其不是平面的实施例。在第一电极221的平反射顶面225上沉积有隔离层222,其在液晶器件200的工作波长 λ 下实质上为透明的。它可以是诸如 SiO_2 层,或者采用如上文或下文所述的其他任何适用的电介质材料。在一个实施例中,隔离层222由电极钝化层232(在本文中也称为电极盖层232)和间隔层242组成,后者将在下文中进一步详述。在隔离层222上设置部分反射式亚波长光栅233,其对第一线性偏振(TM)基本为透射,对第二线性偏振(TE)则基本为反射。部分反射式亚波长光栅233可能采用金属栅格的形式,金属栅格具有平行的光栅线或栅格线224,所述光栅线或栅格线224从由隔离层222限定的预定距离d处沿第一电极221的平面反射顶面225以所选的方向延伸。在图3中,所选方向为垂直于图所在平面的“z”轴方向。在一个实施例中,部分反射式亚波长金属光栅233可能结合有光栅盖层243或被其覆盖,光栅盖层243可能有基本为平面的顶面。光栅盖层234也可以是二氧化硅(SiO_2)层,或者采用如上文或下文所述的其他任何适用的电介质材料。液晶(LC)层230被设置在部分反射式亚波长光栅233上。液晶层230的液晶分子取向有一个优势方向,称为“指向矢”。在一个实施例中,液晶层230的指向矢与光栅线224成一锐角 α , α 优选为但并不必须为45度。在工作波长 λ 下实质上为透明的第二电极241设置在液晶层230之上,与第一电极221相对,以使得在工作中,当在第一电极221与第二电极241之间施加电压V时,液晶层230会对入射到第二电极241上的光101赋予可变的光学相移。相应地,液晶器件200在本文中也称为相位可变延迟器。

[0038] 部分反射式亚波长光栅233可采用与上文中参照图2所述的亚波长金属光栅133基本类似的亚波长金属光栅的形式。亚波长金属光栅233的光栅线224可采用厚度为t和宽度为a的金属条带形式,金属条带相互间由宽度为b的光栅开口234相互隔开,光栅节距 $p=(a+b)$ 和电介质填充因子为 $f=b/p$ 。金属条带234的金属可以是铝(Al)等。它也可以是其他任何适用的金属,例如金(Au)、银(Ag)或铜(Cu),或它们的合金。与金属光栅133类似,金属光栅

233在本文中也可被称为薄膜金属光栅；它与第一电极221的反射面225形成在结构和工作原理上与上文参照图2所述的FB WP 120基本类似的反射式FB波片220。具体而言，入射光束101在从FB WP 220反射时，获得一个光学相移 ϕ ，该光学相移 ϕ 对于TE和TM偏振、即对于电场沿光栅线224方向的光（TE偏振）和与之垂直的方向的光（TM偏振）有不同的值。这些TE和TM相移之间的差异限定了WP 220的延迟。与可能由液晶层230对光束101施加的相位可变延迟不同，FB WP 220的延迟被所选的材料和结构的几何形状所固定，例如隔离层222和盖层243的折射率，光栅几何参数 t 、 a 和 f ，隔离层222的厚度 d ，并可能与光栅条带224的金属的电导率相关。

[0039] 应该理解到，尽管在图3中金属光栅233被示为呈现周期性，但并不要求光栅具有周期性，光栅在某些实施例中可能为非周期性，条件是其在反射中在入射光的TE与TM偏振之间施加了所需的相位差，以提供所需的波片延迟。此类非周期性光栅中光栅节距的最大值优选应选为比工作波长 λ 足够小的值，以确保不会从光栅出现非零衍射级。

[0040] 在一个实施例中，光栅233的填充因子 f 和将金属光栅233与第一电极221的反射顶面225隔开的隔离层222的厚度 d 被选择为对工作波长 λ 下的入射光束101提供基本为四分之一波片($\lambda/4$)的单程延迟，其相当于达到反射式WP 222的基本为半波片($\lambda/2$)的双程延迟。在一个实施例中，反射式WP 220在工作波长 λ 下的双程延迟可能处于 $\lambda/2 \pm 20\%$ 范围内。

[0041] 举例而言，在液晶器件200的工作波长 λ 处于约1.55微米(μm)的通信C波段内的一个实施例中，薄膜金属光栅233的节距 p 处于0.6 μm 至1.0 μm 范围内，每个薄膜金属条带224的宽度 a 在0.2 μm 至0.4 μm 范围内，厚度 t 在0.03 μm 至0.07 μm 范围内。再举例而言，对于 $\lambda=1.55\mu\text{m}$ 的情况，隔离层222的光学厚度在 $0.22 \cdot \lambda$ 至 $0.3 \cdot \lambda$ 范围内，或在0.34至0.47 μm 范围内。再举例而言，在隔离层222和光栅盖层243均由折射率 $n \cong 1.44$ 的熔融石英(SiO_2)制成的一个实施例中，薄膜金属光栅233由铝膜制成，节距 p 为0.8 μm ，每个金属条带224的宽度 a 约为 $0.264 + \sqrt{-0.04}\mu\text{m}$ ，厚度 t 约为 $0.04 + \sqrt{-0.004}\mu\text{m}$ ，金属条带224之间的每个开口的宽度 b 约为 $0.536 + \sqrt{-0.04}\mu\text{m}$ ，隔离层222的厚度为 $0.25 + \sqrt{-0.025}\mu\text{m}$ 。光栅盖层的厚度比金属条带稍大，例如在约0.06至0.12 μm 范围内，例如约为0.09 μm 。当然，在其他实施例中，可以采用提供所需波片延迟值的WP参数 t 、 p 、 a 、 f 和 d 的其他组合。

[0042] 在工作中，入射到器件上的光束101相继通过第二透明电极241和液晶层230传播，并入射(impinge)到亚波长光栅233上。亚波长光栅233与第一电极221的反射顶面225一起将入射于其上的光101反射回去，使其再次通过液晶层230传播。电压 V 被施加在第一电极221与第二电极241之间，由此改变液晶层230的光学相位延迟。其结果是，可变的相位延迟被施加到光束101上。通过适当选择的反射式WP结构220的参数 a 、 b 、 t 和 d ，亚波长光栅233与第一电极221的反射顶面225可以在反射中一起充当与图4中所示液晶指向矢328成角 $\alpha=45$ 度取向的半波片，如现有技术中半波片的作用一样，切换入射光101的TE和TM偏振。这种切换会导致液晶器件200对光束101的偏振状态的灵敏度降低，因为入射光束101的TE偏振分量和TM偏振分量均通过液晶层230传播，一次作为TE光，一次作为TM光。在一些实施例中，角 α 不等于45度，但仍为锐角。如果需要有一定程度的偏振相关性，反射式FB WP 220的延迟值可能在单程中偏离四分之一波。

[0043] 再次参见图3，在所示实施例中，电极221由多个像素电极组成，其在图3中由两个像素电极221a和221b代表，并且也在图4中以平面图示出。这些像素电极可通过使用在支承

基底211内提供的电路被独立寻址。通过在第二电极241与每个像素电极221a和221b之间施加不同的电压,液晶器件200可以施加在光束101的整个波阵面上以基本与偏振无关的方式变化的光学相移,由此充当可变相位阵列器件。

[0044] 图4以“顶视”平面图示出了液晶器件200的一个实施例,其中这些像素电极基本为方形,由像素电极间的间隙325隔开,这些间隙325对它们进行电气上的相互绝缘。该覆盖液晶层的指向矢由箭头328示意性示出,在本实施例中与薄膜金属条带224成角 $\alpha=45^\circ$ 。光栅条带的这一取向可确保在第一次通过时由液晶层230对入射光的一个偏振施加的相移,将在光从WP 220反射时,在第二次通过液晶层230过程中,被同样地施加到与之正交的偏振上。在其他实施例中,液晶指向矢328与光栅条带224之间的角 α 可能不是 45° ,也可能在像素之间各有不同。液晶指向矢328的所需取向例如,可以通过使用本领域已知的将液晶层夹在中间的液晶取向层(在图3中未示出)得以保证。还应理解的是,像素电极221可能不是正方形。

[0045] 应该理解的是,尽管图3和4呈现了位于常规液晶层230、亚波长金属光栅233下方的多个像素电极221以及第二或底板电极241,但液晶器件200可以仅包括一个像素电极221,有效地使液晶器件200成为非像素化的相位可变延迟器,其可用于需要对整个光束101施加相同的可变光学相移的应用场合。

[0046] 现在参见图5,在一个实施例中,金属条带224不会在相邻像素电极上方保持不间断,但包括位于电极间隙325上方的光栅间隙328。这些光栅间隙328也可被称为“像素围栏”,它们将金属条带224的位于一个像素电极上方的部分与金属条带224的直接位于相邻像素电极上方的部分分隔开,由此将薄膜金属光栅233分为相互间电绝缘的多个单独的像素光栅。光栅间隙或开口328可减轻像素之间不需要的电气串扰,此类串扰可能在如图4所示的实施例中由于通过薄膜金属光栅233在相邻像素间的电容耦合而出现,在该实施例中,金属条带224在两个或更多像素上方连续延伸。

[0047] 有利的是,在液晶器件200内包括薄膜金属光栅233可在液晶器件200内生成相对薄的偏振均等化半波片,由此不会显著提高工作电压,且不需要对“底部”第一电极221进行任何改动。如图6所示,一种用以提供具备任何所需延迟的反射式FB波片的方法可被描述为涉及以下一般步骤或操作:a)在步骤610,在平面反射器上生成透明的电介质隔离层;b)在步骤620,在隔离层上形成亚波长薄膜金属光栅。步骤或操作620之后,可以有可选的步骤或操作630,步骤或操作630为在亚波长金属光栅上覆盖光栅钝化层,以保护金属光栅免受环境及可能的后续加工步骤造成的影响。

[0048] 上述参照图6概要给出的方法可以在采用常规CMOS技术制造的LCoS(硅基液晶)器件中方便地使用,仅需对其进行最少的非破坏性改动即可。具体而言,标准LCoSCMOS晶片的最终“顶”层通常为诸如二氧化硅(SiO_2)等电介质材料的平面钝化层。在液晶层下方的电极具有如图1B所示波纹状顶面的硅基液晶器件、例如通过参考并入本申请的2013/0070326号美国专利文件中所述的硅基液晶器件中,必须去除此电极钝化层方可形成电极所需的曲折浮雕,去除的方法诸如是,在CMOS晶片的顶部电极的金属内蚀刻出深度经过谨慎选择的亚微米级凹槽。相反,在FB WP 220中“顶部”反射面225和“底部”反射面227的隔离可有利地避免将光栅线蚀刻到反射金属层221的表面内,从而无需使用定时蚀刻,并避免因蚀刻深度误差可能造成的晶片产量问题。此外,可以执行上文参照图6所述方法的步骤610,以便将位于

LCoS CMOS晶片的顶部的电极钝化层加入到光栅隔离层内,其中在该情况下,所述电极钝化层是步骤610中的平面反射器。

[0049] 再参见图3,液晶器件200的一个实施例采用顶部有钝化平金属电极211/232的常规LCoS CMOS晶片作为基底202,基本对晶片的各组成层无改动。LCoS晶片202的顶部钝化层232在本实施例中可作为反射波片220的隔离层222的一部分加入到液晶器件200中。由此,在本实施例中,为了制造反射式FB波片220,无需去除已沉积的经LCoSCMOS加工的钝化层232(其在本文中也被称为电极钝化层或电极盖层);相反,采用合适材料的间隔层242可以被直接设置在电极盖层232的上方,以提供厚度d对应于所需固定波片延迟值、例如半波延迟 $\lambda/2$ 的隔离层242。有利的是,如果需要,可以采用除生产CMOS晶片202的LCoS CMOS制造设施之外的LCoS制造设施来制造FB波片220。

[0050] 电极盖层232通常为二氧化硅(SiO_2)层,但也可以采用本领域已知的其他任何合适的透明电介质材料,例如但不限于氮化硅(Si_3N_4)、氧化铝(Al_2O_3)、氧化钛(TiO_2)、五氧化二钽(Ta_2O_5)或氧化铪(HfO_2)层。间隔层242的材料也可从同一组透明电介质材料中选择,且可以是材料与电极盖层242相同或相匹配的层;例如,它们可能都是 SiO_2 层。金属条带224可由例如薄膜铝(Al)或任何适用金属制成,包括但不限于金(Au)、银(Ag)和铜(Cu)。

[0051] 现在参见图7,其中示出了可采用常规CMOS LCOS技术和工艺制造的液晶器件200的一种示例实施例或变化形式的一个单元的截面图。它包括具有LCoS电路层403的硅(Si)或二氧化硅(SiO_2)基底401。反射式像素电极421设置在基底顶部,并位于LCoS电路层403上方,采用CMOS制造的电极钝化层405覆盖像素电极421,以保护它们免受环境及后续加工步骤的影响。FB WP层结构422设置在电极钝化层405上,其包括电介质材料的间隔层,随后是由平行间隔开的金属条带形成的金属光栅,以及光栅盖层,例如上文参照图3所述的间隔层242、薄膜金属光栅233和光栅盖层234。光栅盖层234(在图6未单独示出)用于使FB WP层422顶面平整,并保护薄膜金属光栅免受后续加工步骤(例如取向层涂刷(alignment layer brushing))等的影响。贴附到FB WP层结构422和第二电极413的光栅盖层上的取向层411和412用于将液晶层430内的液晶分子按所需的方向排列。取向层411、412可以是例如聚合物层,例如聚酰亚胺,面对液晶层430的表面经过本领域已知的适当的摩光或涂刷处理。第二或底板电极412对器件的工作波长为透明,其形式可以是具有合适导电性的涂层,例如由氧化铟锡(ITO)制成,设置在玻璃盖板432上,用以从顶部保护液晶层430,同时又允许入射到其上的光能够通过液晶层430来回传播。液晶层430的侧面由液晶单元衬垫417加以保护。

[0052] LCoS技术的速度和紧凑性已使其在用于高清晰度光学投影设备的空间光调制器方面获得了成功的应用。根据本发明的一个方面,具有以距其预定距离置于平面像素化或非像素化电极上的亚波长金属光栅133或233的FB波片可以在基于LCoS的空间光调制器中用作微调延迟器。微调延迟器可提供相对较小的双折射,其与LCoS空间光调制器液晶层的由电压控制的双折射相结合,可实现更宽的视角,并提高图像对比度。

[0053] 现在转至图8和9,一种用于制造图3-4、5或7中所示类型液晶器件的示例方法可能包括以下可采用常规CMOS和LCoS技术和工艺实现的步骤或操作。如图所示,此方法可在步骤710处开始,其中透明间隔层541被沉积到LCoS基底510上,LCoS基底510具有采用钝化层532在顶部进行钝化的第一电极521。晶片510可以是由顶上具有钝化电极521/532的硅或二氧化硅基底511形成的常规CMOS LCoS晶片,见图8(a)。第一电极521可以被像素化,也可以

不被像素化。在一个实施例中,间隔层541可能是与电极钝化层532材料匹配的电介质材料。例如,两层可能都是 SiO_2 。或者,间隔层541可以含有 SiO_2 、 Si_3N_4 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 Ta_2O_5 或 HfO_2 。应该理解的是,这一材料列表并无排他性,间隔层的材料可以是能够贴附到电极盖层532上的任何适用的不导电透明材料。

[0054] 间隔层541的沉积可以采用本领域已知的任何适用的沉积方法,例如但不限于CVD沉积、PECVD沉积、离子辅助沉积和离子束溅射。在一个实施例中,间隔层541被沉积到某一厚度,使其与电极钝化层532一起提供具备所需光学厚度的隔离层525,所需光学厚度可基于目标波片延迟进行选择。相应地,步骤710可以包括通过测量或根据LCoS基底510的规格数据表等方式获得电极钝化层532的厚度值,并根据电极钝化层532的厚度和WP延迟的目标值来确定间隔层541的目标厚度。

[0055] 在步骤720,在间隔层541上形成亚波长部分反射式金属光栅或栅格533,形成如图8(c)所示的结构。金属光栅533通常可以如上文参照图2-5的金属光栅133或233所述,并可由多个平行的薄膜金属条带组成。本领域技术人员应可理解,光栅533的制造可采用多种方法。例如,它可采用剥离(lift-off)工艺制造,其中首先使用光刻胶使间隔层541的顶面图案化,光刻胶图案上有开口,光栅的金属条带将位于此处。然后在图案化的间隔层541上沉积薄金属膜,再去除光刻胶及位于其上的金属膜部分。在另一种方法中,在间隔层541的表面上沉积薄金属膜531,如图8(b)所示,随后采用光刻等方法使薄金属膜531图案化,以形成其间有开口的光栅533的金属条带。薄金属膜531可以是诸如铝膜,对于约0.7至0.9 μm 的示例光栅节距,其厚度在约0.03-0.07 μm 范围内,光栅金属条带的宽度在0.2至0.4 μm 范围内。

[0056] 应注意,图8中亚波长金属光栅533以及图2和3中类似光栅133和233的光栅节距可被减小到基本上比 $\lambda/2$ 小的值,光栅条带的宽度也大致与节距成比例缩小。然而,金属光栅533的特征尺寸的这种缩小可能需要采用更为精细且昂贵的技术,由此导致生产成本发生不利的上升。有利的是,我们已发现,采用节距在0.5 λ -0.6 λ 量级上的金属光栅533、233或133可实现良好的FB波片性能,同时又允许使用常规的成本相对低的LCoS制造技术。

[0057] 在其他实施例中,金属光栅533可以是由其他合适的金属制成的薄膜光栅,例如但不限于Au、Ag和Cu。在一个实施例中,形成光栅533的光栅线的金属膜531的部分可以在像素间的间隙的上方被去除,如上文参照图5所述。由此,正处于单个像素电极521上方的光栅533的部分与其最近的相邻部分之间有电绝缘,以减小相邻像素间的电容耦合,使得在空间范围内可变的电压可被施加在最终完成器件的整个液晶层上。

[0058] 在步骤730,采用本领域已知的适当的沉积技术在薄膜金属光栅533上沉积光栅钝化层543,以便在后续的加工步骤中保护其免于损坏,并对晶片的表面加以平整;此步骤将形成图8(d)所示的结构。也被称为光栅盖层的光栅钝化层543的材料可以是 SiO_2 ,或者是其他合适的导电透明材料,例如但不限于 Si_3N_4 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 Ta_2O_5 或 HfO_2 。随后是在步骤740沉积液晶取向层512和在步骤750沉积液晶层530,这将形成图8(e)所示的结构。液晶取向层512可以是例如聚合物材料层,例如聚酰亚胺,可以在沉积液晶层530之前,以液晶指向矢的所需取向的方向对液晶取向层512进行摩擦或涂刷处理。最后,在液晶层上覆盖玻璃盖板553,在玻璃盖板553面对液晶层530的一面上沉积有透明电极层551和第二液晶取向层513,如图8(f)所示及本领域普遍已知的方法。应注意,步骤740、750、760可以按照本领域常规硅基液晶生产技术实现,在本文中不再进一步详述。

[0059] 上述示例实施例在所有方面仅作为本发明的示例,而并无限制之意。例如,虽然上文针对诸如相位可变延迟器等液晶器件的示例实施例进行描述,但应该理解,上文所述类型的FB波片也可用于其他应用场合,特别是,可用于采用LCoS和CMOS技术生产的光学器件。在另一示例中,在多像素器件中,可能只有一部分像素包括基于上文所述的亚波长薄膜金属光栅的FB WP结构,而器件的其他像素内可能没有光栅,或者光栅被设计为有不同的延迟值。此外,上述每个示例实施例均可采用在本文中参照其他实施例所述的特征。因此本发明在具体实施上可以有許多变化形式,这些变化形式可由本领域技术人员从本文所述内容中推出。所有此类变化和修改均被视为在以下权利要求所限定的本发明的适用范围和精神内。

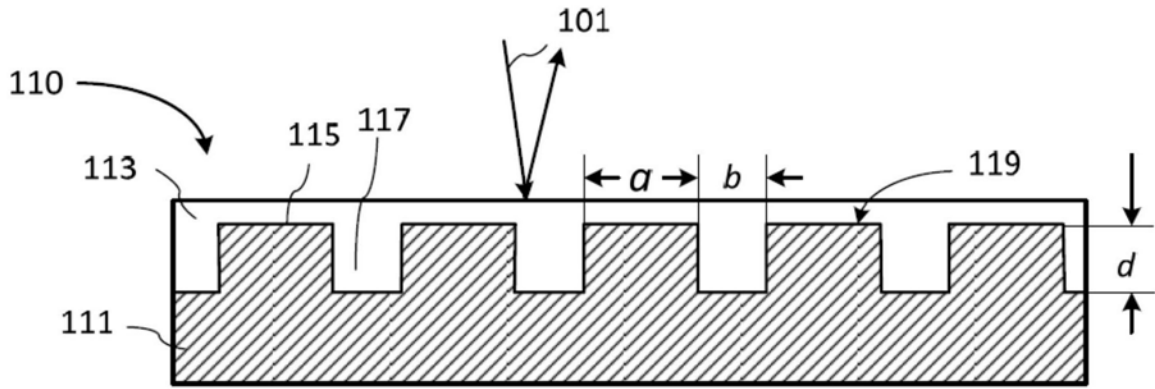


图1A

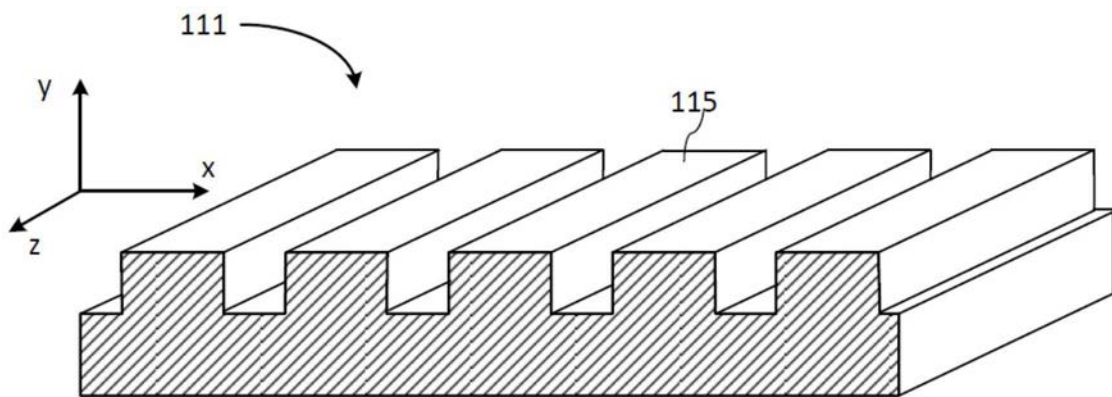


图1B

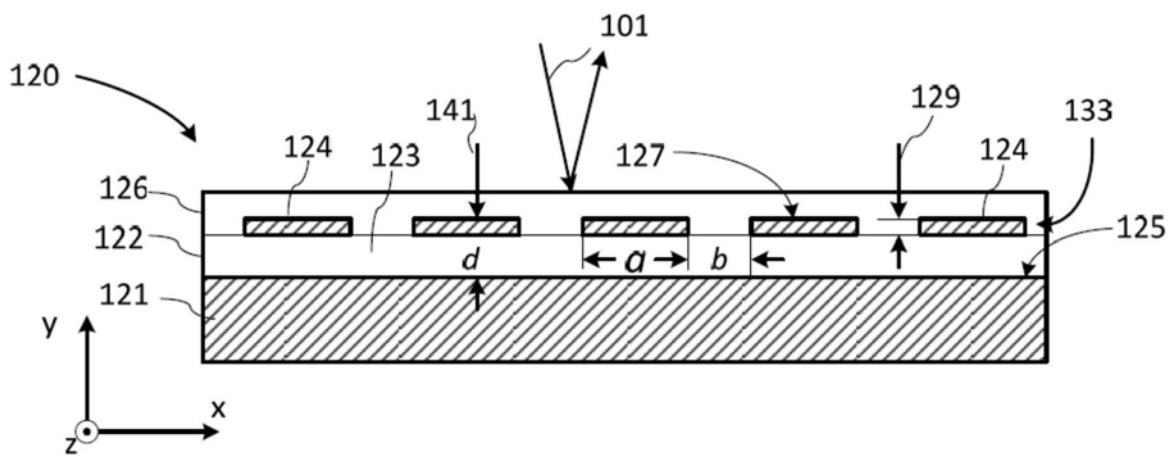


图2

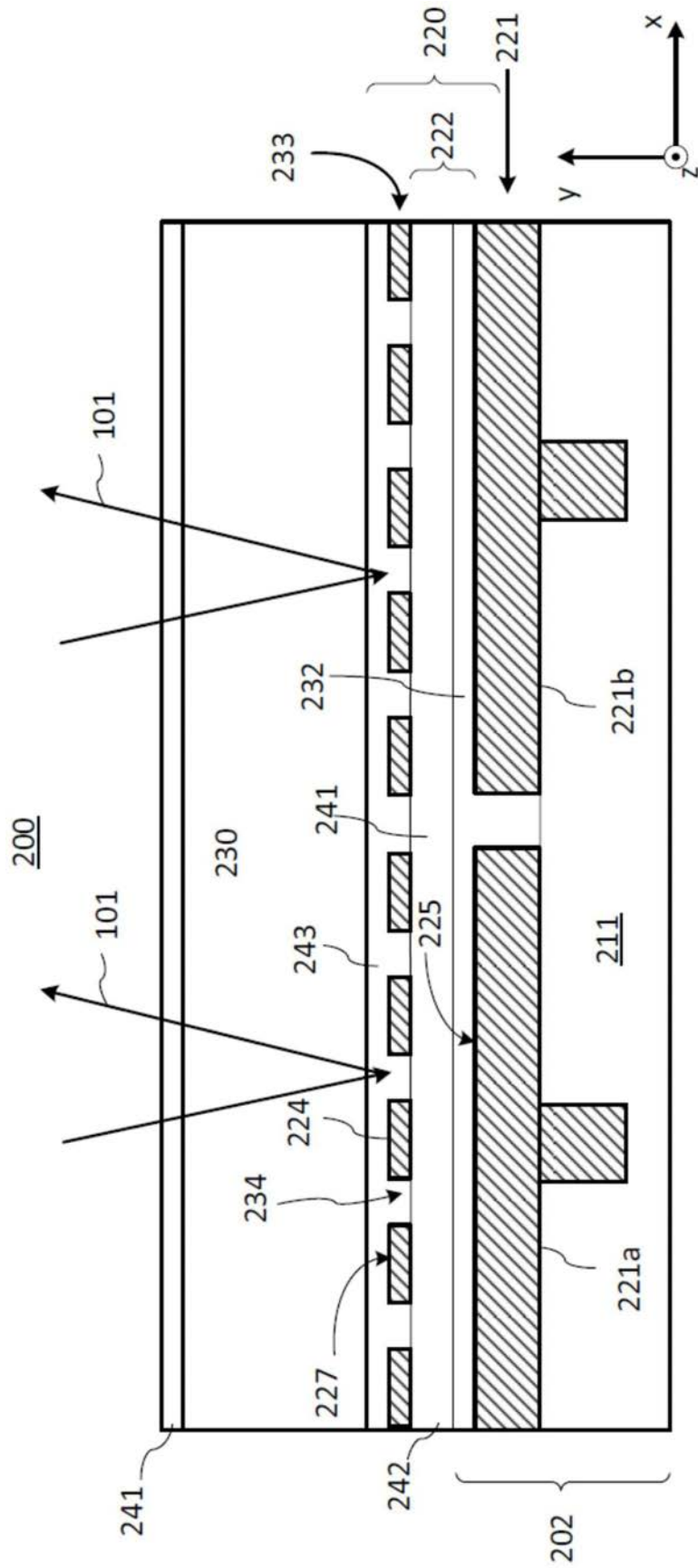


图3

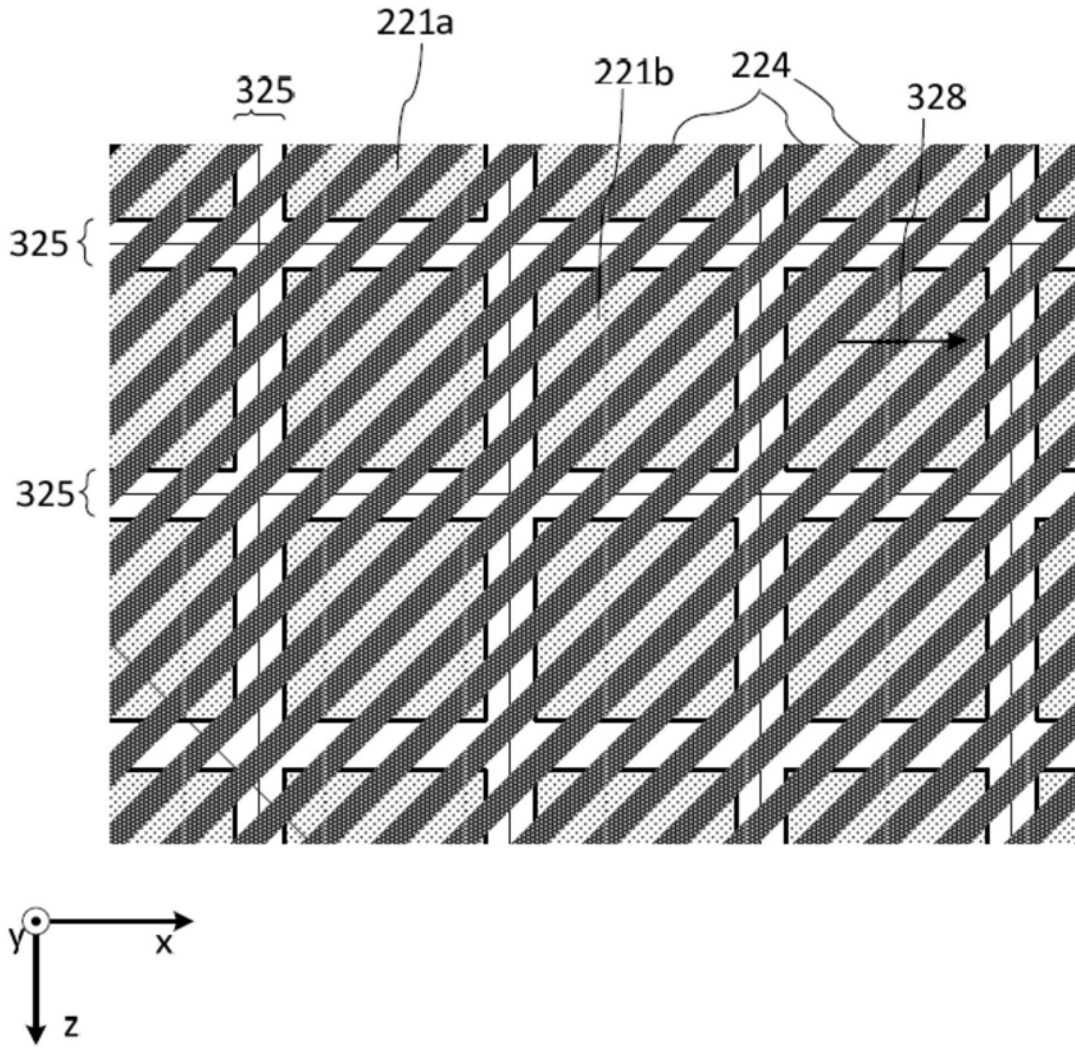


图4

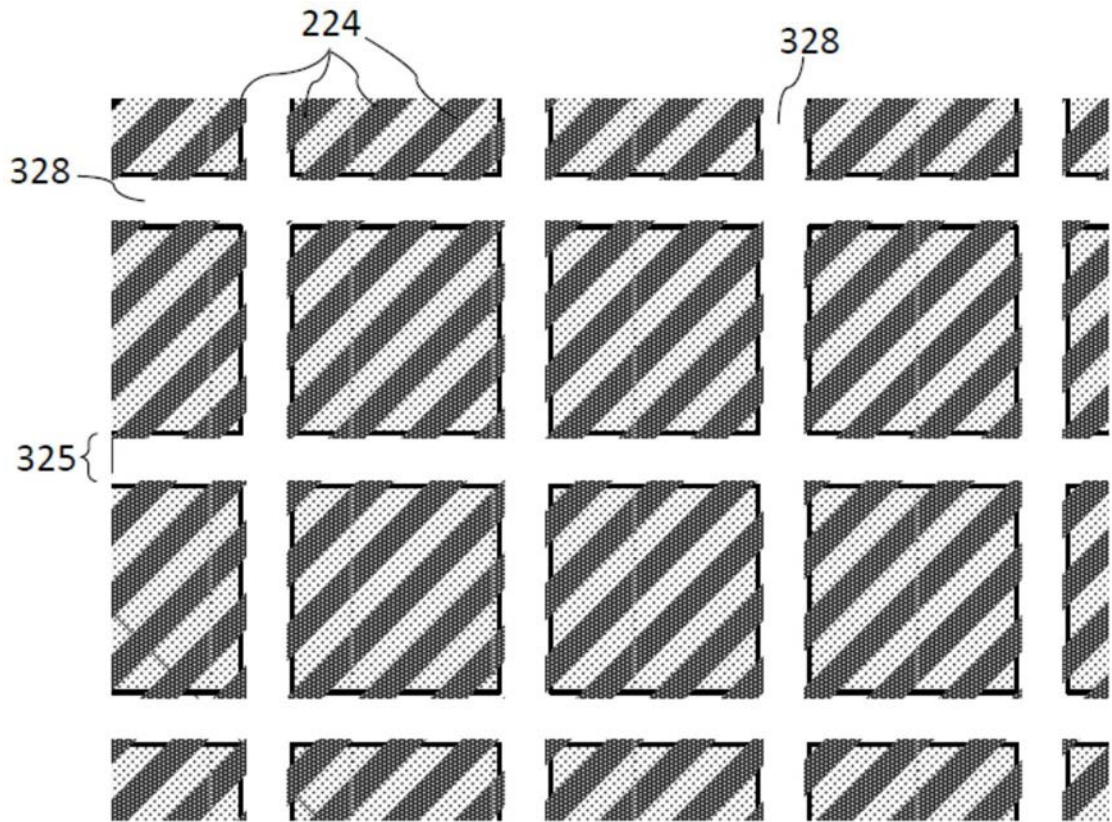


图5

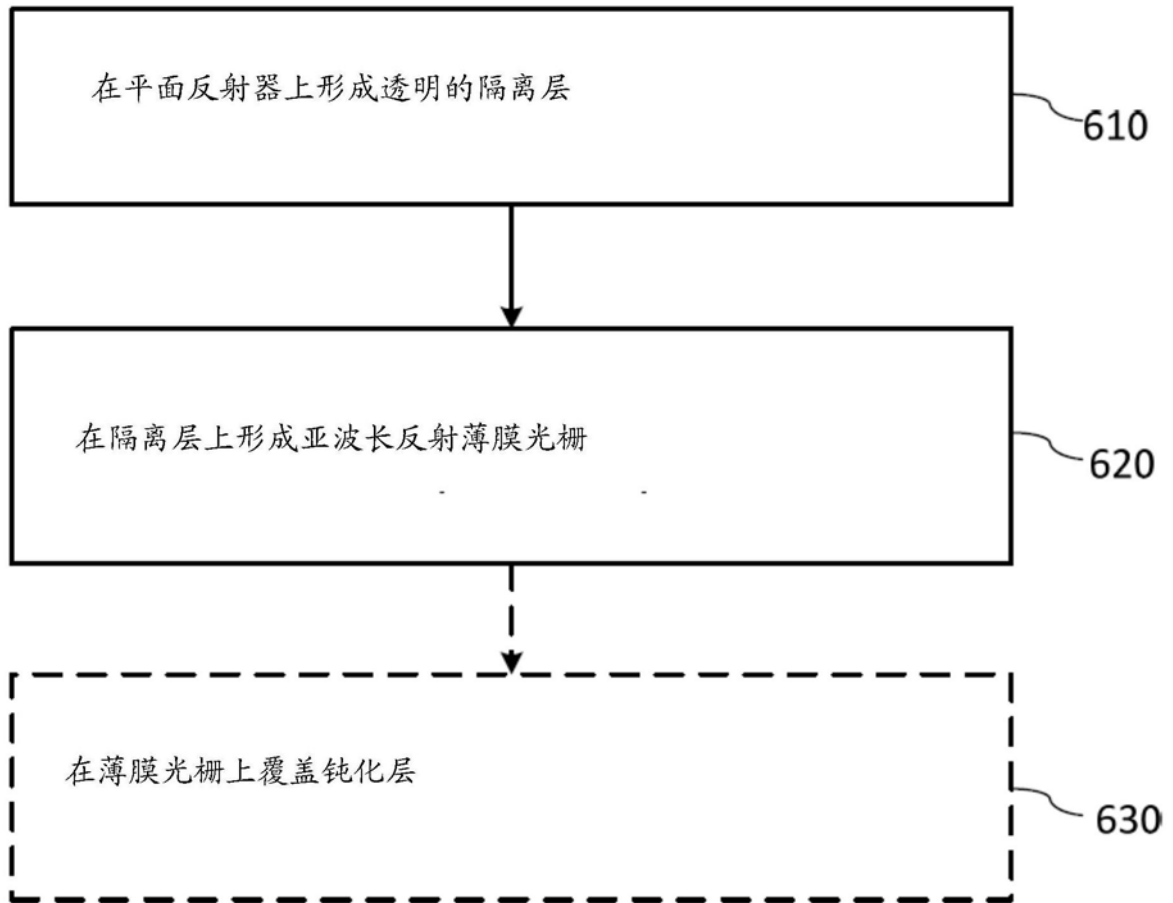


图6

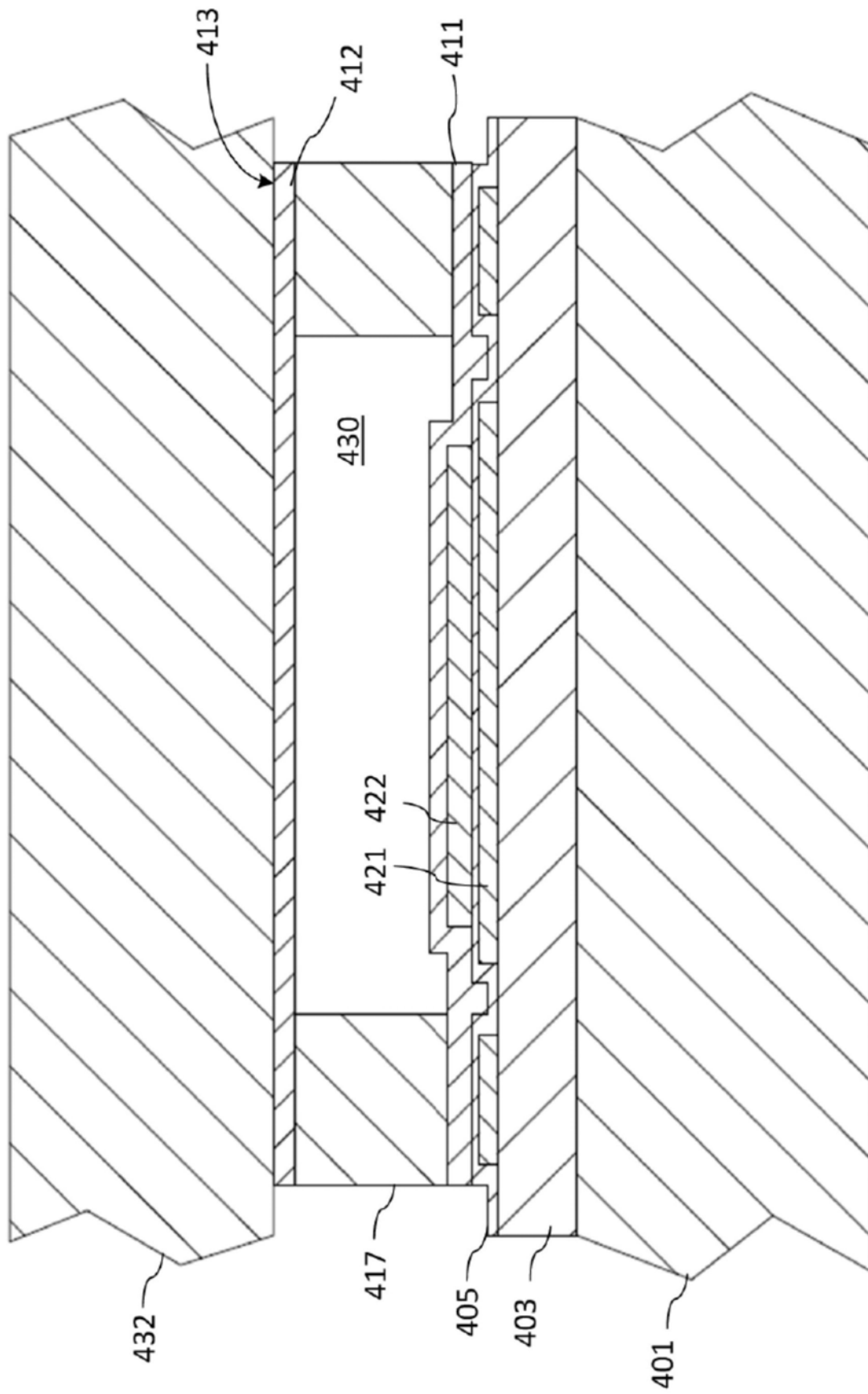


图7

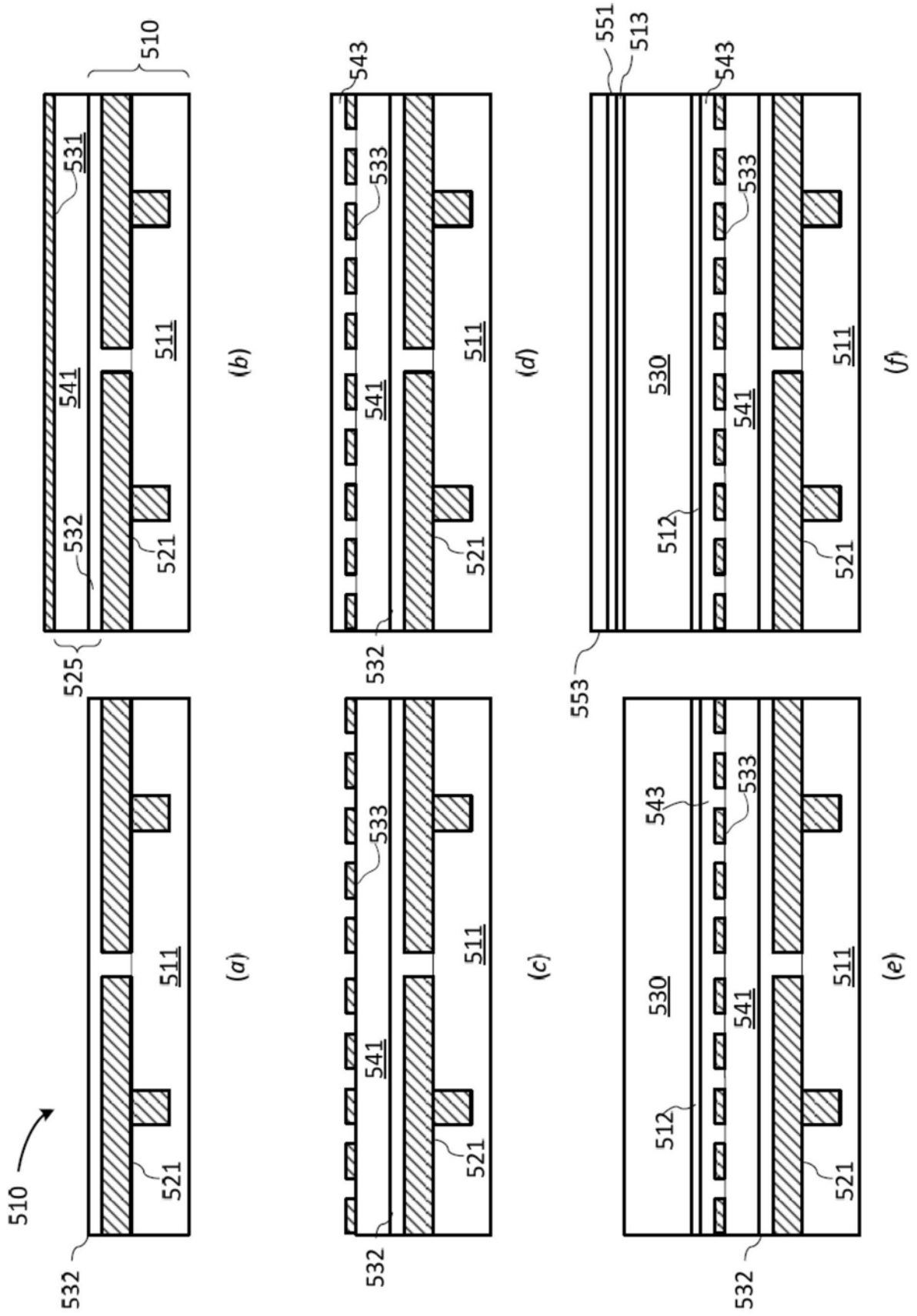


图8

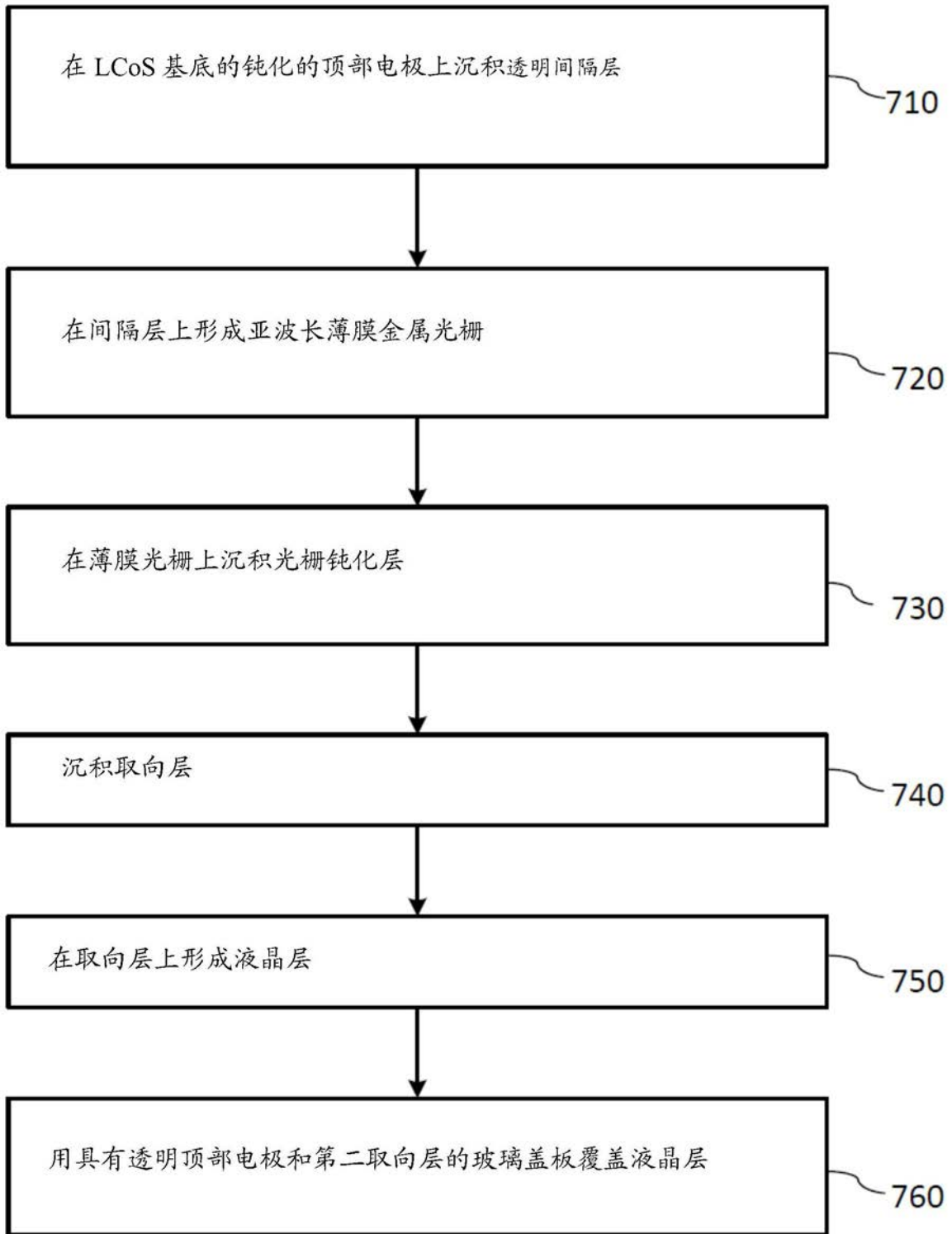


图9