



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111684341 B

(45) 授权公告日 2024. 08. 23

(21) 申请号 201980011194.6

(22) 申请日 2019.01.30

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111684341 A

(43) 申请公布日 2020.09.18

(30) 优先权数据

18154494.1 2018.01.31 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.07.31

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2019/052261 2019.01.30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/149758 EN 2019.08.08

(73) 专利权人 IMEC 非营利协会

地址 比利时勒芬

(72) 发明人 X·罗滕伯格 K·洛德威克斯

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

专利代理师 杨洁 陈斌

(51) Int.Cl.

G02F 1/01 (2006.01)

G03H 1/00 (2006.01)

G03H 1/02 (2006.01)

(56) 对比文件

WO 2017138886 A1, 2017.08.17

审查员 周亚婷

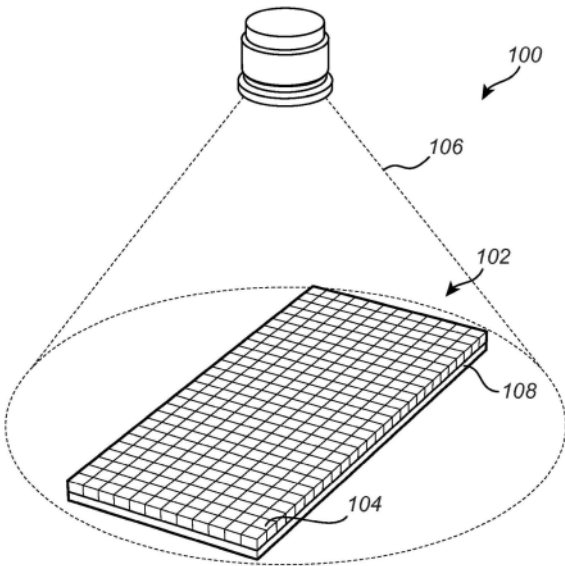
权利要求书2页 说明书18页 附图27页

(54) 发明名称

用于形成三维光场分布的光学器件

(57) 摘要

一种用于形成三维光场分布的光学器件,包括:可单独寻址的单位晶格的阵列;该单位晶格的阵列中的每一个单位晶格包括堆叠,该堆叠包括:至少一个电极;以及共振限定层,包括至少相变材料(PCM)层,其中该共振限定层被图案化以限定几何结构,该几何结构被确定尺寸以限定电磁波的依赖于波长的面内共振;其中该至少一个电极基于接收到用于改变共振限定层中的共振的波长依赖性的控制信号来导致相变材料的相变用以控制单位晶格的光学特性;其中该单位晶格阵列中的各单位晶格被隔开以使得一单位晶格的PCM层与相邻单位晶格中的PCM层隔开。



1. 一种用于形成三维光场的分布的光学器件,所述光学器件包括:

单位晶格的阵列,其中所述单位晶格的阵列中的单位晶格能单独寻址以用于控制所述单位晶格的光学特性;

所述单位晶格的阵列中的每一个单位晶格具有顶面和底面并包括堆叠,所述堆叠包括:

用于接收控制信号的多个电极,所述控制信号用以控制所述单位晶格的光学特性;以及

共振限定层,包括至少相变材料PCM层,其中所述共振限定层被图案化以限定几何结构,其中所述几何结构至少在所述共振限定层的平面内确定尺寸以限定所述共振限定层的所述平面内的共振的波长依赖性;

形成在所述多个电极和所述共振限定层之间的间隔层,其中所述多个电极被配置成基于接收到所述控制信号来导致所述相变材料在第一状态和第二状态之间的相变,并且其中所述相变材料的相变改变所述共振限定层的所述平面内的共振的波长依赖性用以控制所述单位晶格的光学特性;

其中入射光在所述阵列的所述顶面进入所述单位晶格并且调制光在所述阵列的所述顶面离开所述单位晶格,其中所述单位晶格的阵列中的各单位晶格被隔开,以使得单位晶格的PCM层与相邻单位晶格中的PCM层隔开。

2. 如权利要求1所述的光学器件,其特征在于,所述几何结构在所述PCM层的所述平面内的限定所述几何结构的长度的一个方向上延伸,其中所述几何结构被确定尺寸为使所述几何结构的厚度在所述几何结构的长度的0.25倍与所述几何结构的长度的1倍的范围内,其中所述几何结构的长度小于 $\lambda/2$,其中 λ 是将与所述单位晶格联用的光的波长。

3. 如前述权利要求中的任一项所述的光学器件,其特征在于,所述几何结构在所述共振限定层的所述平面内是圆形。

4. 如权利要求1-2中的任一项所述的光学器件,其特征在于,所述几何结构在所述共振限定层的所述平面内的第一方向上具有第一尺寸,而在所述共振限定层的所述平面内的不同于所述第一方向的第二方向上具有不同于所述第一尺寸的第二尺寸。

5. 如权利要求1-2中的任一项所述的光学器件,其特征在于,所述几何结构是由所述相变材料形成的图案化纳米颗粒。

6. 如权利要求5所述的光学器件,其特征在于,所述单位晶格的堆叠进一步包括布置在所述图案化纳米颗粒上的介电材料。

7. 如权利要求5所述的光学器件,其特征在于,所述间隔层是介电材料的,所述间隔层被布置在所述电极和所述图案化纳米颗粒之间。

8. 如权利要求1-2中的任一项所述的光学器件,其特征在于,所述几何结构包括由所述共振限定层的材料中的图案化壁限定的腔体。

9. 如权利要求8所述的光学器件,其特征在于,所述腔体由介电材料填充。

10. 如权利要求8所述的光学器件,其特征在于,所述共振限定层包括所述相变材料在所述腔体的底部的第一厚度,并且壁部中的由所述相变材料形成的所述图案化壁具有大于所述第一厚度的第二厚度。

11. 如权利要求10所述的光学器件,其特征在于,所述单位晶格的堆叠进一步包括所述

相变材料的所述图案化壁顶上的至少一个介电材料层。

12. 如权利要求8所述的光学器件,其特征在于,所述堆叠包括提供所述腔体的壁和底部的涂层的顶部金属层。

13. 如权利要求8所述的光学器件,其特征在于,所述共振限定层包括具有均匀厚度的PCM层以及所述PCM层上的图案化金属层,其中所述腔体由所述金属层中的图案化壁来限定。

14. 如权利要求8所述的光学器件,其特征在于,所述单位晶格的堆叠进一步包括所述电极和限定所述腔体的所述图案化壁之间的介电材料的间隔层。

15. 如权利要求1-2中的任一项所述的光学器件,其特征在于,所述单位晶格的阵列中的第一单位晶格的几何结构相对于所述单位晶格的阵列中的第二单位晶格的几何结构不同地确定尺寸。

用于形成三维光场分布的光学器件

技术领域

[0001] 本发明概念涉及一种用于形成三维光场分布的光学器件。具体而言,本发明概念涉及可形成三维光场以显示全息图像的光学器件。

背景技术

[0002] 全息图像通过对光场的三维控制来形成。具体而言,如果期望呈现变化的全息图像(诸如呈现全息视频),则用于形成三维光场的光学器件可能需要被控制以改变特性。

[0003] 因此,为了全息图像的显示,可能需要改变光学器件中的单位晶格的响应。为此,已知利用相变材料(PCM)来使得能够改变层堆叠的响应。PCM可以在至少两个明确定义的状态之间变化,其中PCM在不同状态中具有不同的光学特性以使得光学器件改变特性。由此,薄PCM层可被用来调制由单位晶格反射或透射的光的强度和相位。

[0004] 在Hosseini P.、Wright C.D、Bhaskaran H.于2014年7月10日发表在自然杂志第511卷第206-211页的“An optoelectronic framework enabled by low-dimensional phase-change films(一种由低维相变膜实现的光电框架)”中,论证了电感稳定的颜色使用极薄相变材料和透明导体来在反射和半透明两个模式中变化。它显示了如何在刚性和柔性膜上的显示器中使用像素化方法。夹在两个ITO层之间的相变材料 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST)的堆叠被沉积在反射表面的顶部。底部ITO层的厚度可以被改变,以便取决于GST的状态针对给定颜色调谐堆栈的反射率。

[0005] 然而,光学特性在单位晶格的不同状态之间的较大差异将会是所期望的,例如以提高全息图像的亮度和/或清晰度。

发明内容

[0006] 本发明概念的目标是提供一种改进的光学器件,该光学器件可用于改善对三维光场分布的控制。

[0007] 本发明的这一目标和其他目的至少部分地由独立权利要求中限定的本发明来满足。优选实施例在从属权利要求中陈述。

[0008] 根据第一方面,提供了一种用于形成三维光场分布的光学器件,所述光学器件包括:单位晶格的阵列,其中该单位晶格的阵列中的单位晶格是可单独寻址的以用于控制该单位晶格的光学特性;该单位晶格的阵列中的每一个单位晶格包括堆叠,该堆叠包括:用于接收用于控制该单位晶格的光学特性的控制信号的至少一个电极;以及共振限定层,包括至少相变材料(PCM)层,其中该共振限定层被图案化以限定几何结构,其中该几何结构至少在共振限定层的平面内被确定尺寸以限定该共振限定层的平面内的共振的波长依赖性;其中该至少一个电极被配置成基于接收到该控制信号来导致相变材料在第一状态和第二状态之间的相变,并且其中该相变材料的相变改变共振限定层的平面内的共振的波长依赖性用以控制单位晶格的光学特性;其中该单位晶格的阵列中的各单位晶格被隔开,以使得一单位晶格的PCM层与相邻单位晶格中的PCM层隔开。

[0009] 该光学器件包括PCM层,该PCM层被图案化以便通过限定共振限定层的平面内的共振来控制单位晶格的共振特性。由此,与其中各层的多层堆叠中的各层的厚度限定导致入射光线和(相乘)反射光线的相消干涉的面外法布里珀罗(Fabry-Pérot)共振(针对PCM的一个状态)的几何形状相反,本公开的光学器件使用包括相变材料的图案来限定面内共振。

[0010] 本发明的见解是通过使用PCM层来限定单位晶格的共振,单位晶格在PCM的第一状态和PCM的第二状态之间的光学特性变化可以是显著的,这可实现基于PCM处于第一或第二状态的强响应。这意味着该光学器件可使得能够实现由该光学器件输出的三维光场的分布的准确的控制。

[0011] 单位晶格的共振限定层可被图案化,以使得单位晶格对波长的透射或反射(取决于光学器件被用来反射还是透射入射光束)在第一和第二PCM状态之间的比值至少高于20、至少高于50、或至少高于100。

[0012] 应认识到,该光学器件可被用于形成用于全息显示的光场,但对三维光场的控制在其他应用中也可以是有用的。用于形成三维光场的光学器件可投射所透射的光束的三维受控分布,这可以在用于受控照明的任何类型的应用中使用,而不一定需要与基于三维光场来形成所显示的图像相结合。

[0013] 相变材料可具有伴随有光学特性的显著变化的相变。光学特性可以是例如材料的复折射率或复介电常数。

[0014] 相变材料可被配置成在晶态和非晶态之间切换。然而,应理解,第一和第二状态可以是相变材料的状态的其他配置。例如,相变材料可被配置成在两个不同的晶态之间切换。

[0015] 凭借单位晶格阵列中的各单位晶格被隔开以使得一单位晶格的PCM层与相邻单位晶格中的PCM层隔开,相邻单位晶格的PCM层可被单独控制。这意味着每一个单位晶格可被单独寻址并且使得能够通过经由控制每一单位晶格中的PCM的状态对来自每一个单位晶格的贡献进行单独控制来控制输出三维光场的分布。

[0016] 相邻单位晶格的隔开可通过相邻单位晶格的PCM层被物理地隔开来实现。然而,相邻单位晶格的隔开还可通过由被物理地隔开的相邻单位晶格的至少一个电极进行隔开来实现。由此,用于触发单位晶格的PCM的相变的控制信号无法影响相邻单位晶格。

[0017] 如上所示,不仅仅是共振限定层的厚度对限定提供单位晶格的期望共振特性的几何结构是重要的。相反,在共振限定层的平面内形成适合对于其在PCM的第一或第二状态中期望共振的波长的几何结构也是重要的。

[0018] 根据一实施例,几何结构至少在共振限定层的平面内确定尺寸以限定共振限定层的平面内的可见波长的共振的波长依赖性。

[0019] 该光学器件可以合适地与可见波长联用,因为这意味着三维光场可被人看见。在诸如用于全息图像的创建的许多应用中,可见波长的使用是被期望的。然而,该光学器件可替换地与其他波长联用,诸如近红外线、红外线或紫外线波长。几何结构因此可被确定尺寸以限定该光学器件的期望工作波长的共振的波长依赖性。

[0020] 三维光场的分布例如可用于显示全息图像。该光学器件由此可用于显示全息图像或全息图像的视频。

[0021] 然而,应理解,对三维光场的控制在其他应用中也可以是有用的。三维光场可投射入射光束的三维受控分布,这可被用于各种应用,诸如光检测和测距(激光雷达)、3D记忆,

以及用于成像系统的高级照明源。

[0022] 根据一实施例,几何结构在PCM层的平面内的限定该几何结构的长度的一个方向上延伸,其中该几何结构被确定尺寸以使该几何结构的厚度在该几何结构的长度的0.25倍与该几何结构的长度的1倍的范围内,其中该几何结构的长度小于 $\lambda/2$,其中 λ 是将被与该单位晶格联用的光的波长。

[0023] 在此类尺寸下,或许可以形成共振限定层中的面内共振,以使得可提供单位晶格对于PCM的第一和第二状态的光学特性之间的强差异。

[0024] 根据另一实施例,PCM层中的几何结构的厚度至少是20nm。

[0025] 由于面内共振可以主要被形成在PCM层中,因此PCM层不应太薄。这意味着在PCM层中存在足够量的材料来生成单位晶格对于PCM的第一和第二状态的光学特性之间的强差异。

[0026] 根据一实施例,几何结构在共振限定层的平面内是圆形。

[0027] 这意味着可由该几何结构提供对入射光的对称影响。在讨论圆形几何结构的长度时,该圆形几何结构的直径应被用作长度。

[0028] 根据一实施例,几何结构在共振限定层的平面内的第一方向上具有第一尺寸,而在该共振限定层的平面内的不同于第一方向的第二方向上具有不同于第一尺寸的第二尺寸。

[0029] 这意味着几何结构可被适配成用于多个波长。由此,使用几何结构的半圆形或矩形形状,单位晶格可被适配成提供使用两个正交线性偏振的两个不同波长的期望特性。由此,该器件可提供与不同波长联用的灵活性。

[0030] 应理解,可由几何结构限定不止两个不同的尺寸。例如,几何结构可具有六边形形状,该形状可允许单位晶格被适配成提供三个不同波长的期望特性。

[0031] 几何结构可以按许多不同的方式来被形成以提供所期望的光学特性。几何结构的尺寸确定可取决于其中图案化PCM层被布置成形成该几何结构的环境。包括共振限定层的单位晶格的堆叠的不同设置可以有不同的优点,并且几何结构可取决于不同设置来设计或确定尺寸以提供所期望的光学特性。例如,一些设置可允许几何结构是小和/或薄的,从而实现单位晶格阵列的密集布置。其他设置可允许光学特性在第一和第二状态之间的非常大的差异,这可促成对三维光场分布的准确控制,并且例如,使得能够实现高质量的全息图像的显示。

[0032] 根据一实施例,其中几何结构是由相变材料形成的图案化纳米颗粒。

[0033] 这意味着几何结构是以用相变材料形成的颗粒的形成提供的。这意味着相对较简单的结构被形成,因为该几何结构是作为被形成为颗粒的正结构来提供的。然而,应理解,如以下进一步描述的,几何结构可改为被形成为相变材料中的腔体。

[0034] 根据一实施例,单位晶格的堆叠进一步包括布置在图案化纳米颗粒上的介电材料。

[0035] 该介电材料可限定纳米颗粒的环境以控制图案化纳米颗粒上的材料的折射率。介电材料可被选择以设计纳米颗粒的环境的折射率。

[0036] 图案化纳米颗粒可替换地被暴露给外部环境,诸如空气。然而,在图案化纳米颗粒上至少具有薄介电衬里层以保护几何结构可以是有利的。具体而言,衬里层可以在相变材

料的状态切换期间保护相变材料。状态切换可涉及在高温下操作,如果图案化纳米颗粒被暴露给外部环境则这可导致相变材料的氧化。

[0037] 根据一实施例,单位晶格的堆叠进一步包括布置在图案化纳米颗粒上的第一介电材料以及布置在第一介电材料上的第二介电材料,其中第一介电材料具有比第二介电材料更大的折射率。

[0038] 这可用于进一步设计纳米颗粒的环境。第一介电材料和第二介电材料可作为堆叠被布置在图案化纳米颗粒上。根据一实施例,第一介电材料和第二介电材料的堆叠可用于最小化来自纳米颗粒的反射,同时不充当各单位晶格的纳米颗粒之间的抗反射涂层。

[0039] 根据一实施例,单位晶格的堆叠进一步包括介电材料的间隔层,其中该间隔层被布置在电极和图案化纳米颗粒之间。

[0040] 该电极可用作反射表面,其中由该电极提供的反射由共振限定层来控制。纳米颗粒的图案化应计及间隔层的效果,因为间隔层的存在可影响将被用来使得面内共振出现且提供所期望的光学特性的纳米颗粒的尺寸。间隔层的存在可允许使用纳米颗粒的小厚度。

[0041] 纳米颗粒可被布置成嵌入形成电极与该纳米颗粒之间的间隔层的介电材料中。由此,介电层可包围纳米颗粒以形成电极与该纳米颗粒之间的间隔层并且还提供该纳米颗粒上方和各侧方的环境。

[0042] 根据一实施例,间隔层可包括第一介电材料,并且单位晶格的堆叠可进一步包括布置在图案化纳米颗粒上的第二介电材料,其中第二介电材料具有比第一介电材料更大的折射率。具有第二介电材料层的纳米颗粒可以嵌入或不嵌入形成间隔层的第一介电材料中。在堆叠中具有第二介电材料可进一步允许设计由共振限定层基于第二介电材料层的厚度和/或尺寸来提供的光学特性。

[0043] 根据一实施例,几何结构包括由共振限定层的材料中的图案化壁限定的腔体。

[0044] 由于腔体和颗粒在光学方面可被认为互为逆,因此单位晶格的光学特性可以按针对纳米颗粒和腔体的相应方式来配置。

[0045] 腔体可被形成在PCM层中,这对应于如上所述在PCM层中使用纳米颗粒。然而,在另一实施例中,PCM层的第一厚度可被提供以使得腔体的底面可由PCM层的第一厚度来限定。此外,腔体的图案化壁可被形成在PCM层的第一厚度上。图案化壁可被形成在PCM层中,以使得腔体的侧壁和底面由PCM材料来形成。替换地,图案化壁可被形成在被布置在PCM层的均匀厚度上方的金属层中。

[0046] 对于腔体,几何结构的厚度应被解释为是被定义为图案化壁在腔体底面上方的高度的腔体深度。由此,如此处所使用的,几何结构的厚度应在该几何结构包括纳米颗粒的情况下被解释为纳米颗粒的厚度,并且在该几何结构包括腔体的情况下被解释为腔体的深度。

[0047] 对于腔体,几何结构的长度应对应于图案化壁之间的长度。对于被限定在图案化壁内部的圆形形状,长度应被解释为由图案化壁限定的圆形形状的直径。

[0048] 根据一实施例,腔体由介电材料填充。

[0049] 该介电材料可限定腔体中的环境以控制该腔体中的材料的折射率。介电材料可被选择以设计腔体中的环境的折射率。

[0050] 根据一实施例,共振限定层包括相变材料在腔体底部的第一厚度,并且壁部中的

由相变材料形成的图案化壁具有大于第一厚度的第二厚度。

[0051] 这意味着腔体的侧壁和底面由相变材料形成。单位晶格的光学特性由此可通过改变相变材料的第一厚度、改变相变材料的第二厚度以及改变腔体的尺寸(即,腔体的横向大小)来设计。

[0052] 根据一实施例,其中单位晶格的堆叠进一步包括相变材料的图案化壁顶上的至少一个介电材料层。

[0053] 该至少一个介电材料层由此可用于限定腔体的更大深度,这可用于设计单位晶格的光学特性。

[0054] 图案化壁顶上的至少一个介电材料层可以是单个介电材料层。然而,在另一实施例中,图案化壁顶上的至少一个介电材料层可包括第一介电材料的第一层以及第二介电材料的第二层,其中该第一介电材料具有比该第二介电材料更大的折射率。

[0055] 根据一实施例,堆叠包括提供腔体的壁和底部的涂层的顶部金属层。

[0056] 薄顶部金属层可形成可保护几何结构的衬里。顶部金属层可增强几何结构的共振,同时允许该几何结构被设计和确定尺寸以限定面内共振。

[0057] 在一实施例中,顶部金属层可具有小于10nm的厚度。这可意味着几何结构的共振可由该几何结构的尺寸来限定。

[0058] 顶部金属层还可提供PCM层上的涂层或者形成图案化壁的顶面的任何其它材料。根据另一实施例,顶部金属层可提供涂层,其无需存在于腔体的所有表面上。例如,顶部金属层可提供腔体的侧壁或者腔体的底部上的涂层。

[0059] 类似于对图案化纳米颗粒的讨论,包括腔体的几何结构可以有利地具有薄介电衬里层,该层被布置成覆盖几何结构以保护该几何结构。具体而言,衬里层可以在相变材料的状态切换期间保护几何结构中的相变材料和/或金属层。状态切换可涉及在高温下操作,在相变材料或金属被暴露给外部环境的情况下这可导致该材料或金属的氧化。

[0060] 根据一实施例,共振限定层包括具有均匀厚度的PCM层以及该PCM层上的图案化金属层,其中腔体由金属层中的图案化壁来限定。

[0061] 这意味着PCM层可限定腔体下面的底面,而腔体的几何结构的尺寸可由该金属层来限定。由此,PCM层的厚度以及图案化金属层的厚度(限定腔体的深度)和腔体的横向大小(各图案化壁之间的距离)可用于设计单位晶格的光学特性。

[0062] 根据一实施例,单位晶格的堆叠进一步包括电极和限定腔体的图案化壁之间的介电材料的间隔层。

[0063] 该间隔层可被布置在电极上并限定腔体的底面。然而,在包括具有均匀厚度的PCM层以及该PCM层上方的图案化金属层的实施例中,间隔层可被布置在该PCM层上以限定腔体的底面。在又一实施例中,间隔层可被布置在电极上,并且PCM层可被布置在该间隔层上,其中该PCM层可限定腔体的底面。

[0064] 电极/PCM层与图案化腔体之间的间隔层设置环境(腔体被布置在其中),并且该腔体可以相对于该间隔层的效果来图案化。此外,间隔层的厚度可被用于设计单位晶格的光学特性。

[0065] 腔体的几何结构可被布置成嵌入在形成电极/PCM层与腔体之间的间隔层的介电材料中,其中该介电层还填充腔体并形成腔体上方的上层。

[0066] 根据一实施例,该光学器件进一步包括被布置在单位晶格阵列上的透明电极。

[0067] 透明电极可以向单位晶格阵列或该阵列内的多个单位晶格提供共用电位,以使得单位晶格的堆叠中的至少一个电极可接收与透明电极提供的共用电位相关的信号以用于控制该单位晶格中的PCM的相变。这意味着可以在单位晶格的堆叠中提供单个电极,同时可提供一透明电极以便由若干单位晶格共享。

[0068] 通过使用透明电极,电极可被布置在单位晶格的堆叠上方,而不与入射在该单位晶格的堆叠上的光相互作用。

[0069] 根据一实施例,单位晶格阵列进一步包括底线电极和顶线电极,每一个底线电极在该单位晶格阵列中的一排单位晶格之下延伸,每一个顶线电极在该单位晶格阵列中的一列单位晶格之上延伸,其中顶线电极是透明的或者包括单位晶格上的透明部分。

[0070] 这意味着单位晶格可通过底线电极和顶线电极上的信号的组合来单独寻址。

[0071] 顶线电极可包括用于限定处于单位晶格中的金属层中的腔体的图案化壁。由此,该腔体可被形成在顶线电极中,该顶线电极还可用于控制单位晶格的PCM层的状态。于是顶线电极可被或不被形成在透明材料中。

[0072] 根据一实施例,每一个单位晶格的电极是透明的,以用于提供被配置成使光透射穿过该单位晶格的单位晶格。

[0073] 由此,该光学器件可用于在单位晶格阵列上接收到的光束的透射。

[0074] 根据另一实施例,每一个单位晶格的电极是反射性的(或者每一个单位晶格包括反射层)。由此,该光学器件可用于在单位晶格阵列上接收到的光束的反射。

[0075] 根据一实施例,其中相变材料是锗、锑和碲的化合物GST。

[0076] 例如,相变材料可由 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST) 形成。这是可以在非晶态和晶态之间变化并且可以合适地用于提供单位晶格阵列的所期望的光学特性的材料。

[0077] 然而,应理解,相变材料可以是基于两个状态之间的切换来提供光学特性变化的任何材料。相变材料可以是例如可相对于暴露于温度(热致变色材料)或者相对于暴露于光(光致变色材料)而经历相变的任何材料或者此类材料的组合。例如,可使用多种不同形式的钒氧化物,诸如 VO_2 和 V_2O_3 。相变材料可以包括由以下各项形成的热致变色材料,金属氧化物材料(诸如上述氧化钒)、聚合物(诸如包含偶氮苯的聚二乙炔)、或纳米结构的聚合物(诸如二嵌段(聚[苯乙烯-b-异戊二烯])共聚物)。相变材料可替换地是基于所施加的电场来改变光学特性的电光材料(诸如双折射材料)或者基于所施加的磁场来改变光学特性的磁光材料(诸如石榴石和铁磁金属)。

[0078] 根据一实施例,单位晶格阵列中的第一单位晶格的几何结构可以相对于该单位晶格阵列中的第二单位晶格的几何结构不同地确定尺寸。

[0079] 这意味着单位晶格阵列中的两个单位晶格可具有对入射在单位晶格上的光束的不同影响。这可被利用以使得不同的单位晶格可被适配成与入射光束的不同目标波长联用。由此,单位晶格阵列可被设计成与入射光束的不同波长联用。

附图说明

[0080] 通过以下参考附图的说明性和非限制性的详细描述,将更好地理解本发明构思的以上以及其他目的,特征和优点。在附图中,除非另有说明,否则相似的附图标记将用于相

似的元件。

[0081] 图1是根据一实施例的光学器件的示意图。

[0082] 图2a-d是阵列中的单位晶格的构造的示意图。

[0083] 图3a-1、图4a-f以及图5a-1是单位晶格的不同配置的示意图。

[0084] 图6是相对于单位晶格的交叉点构造中的电极的示意图。

[0085] 图7a-d是用于模拟光学特性的单位晶格的构造的示意图。

[0086] 图8a-f示出了阐释图7a所示的单位晶格的构造的反射比的图表。

[0087] 图9a示出了反射光谱,图9b示出了针对三个所选情形(由图8d-f中的白圈指示)的反射比。

[0088] 图10是示出可因变于图7b所示的单位晶格的构造中的间隔厚度而达到的反射比的图表。

[0089] 图11a-f示出了阐释图7b所示的单位晶格的构造的反射比的图表。

[0090] 图12a示出了反射光谱,图12b示出了针对所选情形(由图11a-c中的圆圈指示)的反射比,图12c示出了反射光谱,图12d示出了针对所选情形(由图11d-f中的圆圈指示)的反射比。

[0091] 图13是用于模拟光学特性的单位晶格的另一构造的示意图。

[0092] 图14a-c示出了阐释对于不同ARC厚度(取决于所设计的波长)观察到的晶态和非晶态GST状态之间的反射比的图表。

[0093] 图15a示出了反射光谱,图15b示出了针对由图14a-c中的右手侧圆圈指示的设计的反射比,图15c示出了反射光谱,图15d示出了由图14a-c中的左手侧圆圈指示的设计的反射比。

具体实施方式

[0094] 现在参照图1,光学器件100将被一般性地描述。光学器件100可包括单位晶格104的阵列102。单位晶格104的阵列102中的单位晶格可被单独寻址以用于控制单位晶格104的光学特性并由此控制单位晶格104的阵列102的光学响应。

[0095] 每一个单位晶格104可被单独寻址。然而,应理解,不一定每一个单位晶格104都是可单独寻址的。

[0096] 通过控制单位晶格104的光学特性,可控制对入射在阵列102上的光束106的影响。由此,单位晶格104可以相组合地形成对入射光束106的可控影响。由此,阵列102可用于基于入射光束106来形成并控制三维光场分布。

[0097] 三维光场例如可用于显示全息图像。凭借单位晶格104是可控的,可提供所形成的全息图像的变化。这意味着光学器件100可用于显示全息图像的视频。

[0098] 然而,应理解,对三维光场的控制在其他应用中也可以是有用的。用于形成三维光场的光学器件100可投射入射光束的三维受控分布,这可以在用于受控照明的任何类型的应用中使用,而不一定需要与基于三维光场来形成所显示的图像相结合。

[0099] 光学器件100可被设置成用于反射入射光束106或者入射光束106的透射。光束106可由相干光源(诸如作为激光束的光束106)来提供,该光源提供了单位晶格104的阵列102上的入射光场的明确定义的关系,并因此适合用作使用单位晶格104的阵列102来形成三维

光场的期望分布的基础。

[0100] 单位晶格104包括共振限定层,该共振限定层包括相变材料(PCM)层。共振限定层被图案化以限定几何结构,该几何结构可以至少部分地存在于PCM层中。几何结构至少在共振限定层的平面内被确定尺寸,该平面可以平行于其上形成单位晶格104的阵列102的基板108。

[0101] 几何结构的尺寸确定被设计成限定共振限定层的平面内的共振。几何结构和单位晶格104可被设计成使得单位晶格104的光学特性适配光学器件100旨在用于的入射光束106的波长。

[0102] 几何结构的不同尺寸可取决于入射光的波长来改变单位晶格104的共振。由此,通过使用几何结构的所选特定尺寸,光学器件100可被适配成用于特定波长。共振对几何结构的尺寸的波长依赖性由此可用于相对于将与光学器件100联用的波长来选择几何结构的合适尺寸。

[0103] 通过恰当地设计共振限定层的几何结构,可激发局部共振,该局部共振强烈地取决于几何结构的确切尺寸,同时这些共振的光谱位置强烈地取决于PCM的材料状态。

[0104] 凭借激发共振限定层的平面内的局部共振并且这些共振强烈地取决于PCM的状态,可取决于针对单位晶格104设置的PCM状态来提供对单位晶格104的入射光的影响的非常大的差异。这使得能够非常准确地控制三维光场分布,并且还使得能够提供所形成的三维光场中的高分辨率。

[0105] 以下将提供几何结构的多个不同实施例,这些实施例可使得能够使用共振限定层的平面内的共振来控制单位晶格104的光学特性。

[0106] 所有此类几何形状都将充当“可切换”或“可调谐”天线,这可允许通过切换PCM状态来控制单位晶格104的光学特性。

[0107] 相变材料GST($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$)可以合适地在单位晶格104中使用。GST可以在晶态和非晶态之间热切换(通过控制冷却速率)并因此可提供控制PCM状态的简单方式。在以下示例结果中,使用GST。然而,应理解,可替换地使用其他相变材料。

[0108] 在将GST用作PCM的特定情形中,切换材料将该结果从等离子(晶态)变为介电(非晶态)天线,这将展示出非常类似但在不同波长下的共振,从而允许对于给定波长将该结构从高反射状态变为低反射状态。

[0109] 在切换GST状态之际,光学特性被显著改变,从而导致折射率和介电常数的实部和虚部两者的较大变化。应注意到,在其晶态中,GST具有介电常数的负实部,这意味着它表现出金属行为,并因此支持等离子共振。在其非晶态中,GST具有介电常数的正实部,伴有较大虚部,这意味着它充当高损耗电介质。

[0110] 单位晶格104中的PCM可以热切换(如对于GST),但不限于此。应理解,在不同实施例中,电光材料和磁光材料可用作替代实现。

[0111] 在以下讨论的实施例中,考虑几何结构的两个主要几何形状。这两个主要几何形状可被认为互为逆,并因此这些主要几何形状中的任一者可用于限定该几何结构的面内共振。

[0112] 第一几何形状涉及来自图案化PCM层的纳米颗粒。第二几何形状涉及形成在共振限定层中的腔体,该腔体可由图案化PCM层来形成。在这两个几何形状中,在第一和第二状

态之间切换PCM将改变几何结构的共振。

[0113] 纳米颗粒或腔体中的局部化共振强烈地取决于面内或面外尺寸,这允许创建单位晶格104的光学特性的非常强的调制。

[0114] 现在参照图2a-d,将讨论包括包含纳米颗粒的单位晶格104的构造的第一实施例,并且将相对于将在单位晶格104中使用的相关尺寸来讨论包括包含腔体的单位晶格104的构造的第二实施例。

[0115] 图2a示出了指示两个相邻单位晶格104的堆叠110的第一实施例的侧视图。图2b示出了第一实施例的俯视图。类似地,图2c示出了指示两个相邻单位晶格104的堆叠130的第二实施例的侧视图。图2d示出了第二实施例的俯视图。

[0116] 在第一实施例中,堆叠110包括电极112、形成电极112上的纳米颗粒114的图案化PCM层以及周围介电材料116,例如氧化物116的形式。

[0117] 在第二实施例中,堆叠130包括电极132、包括用于限定腔体136的图案化壁的图案化PCM层134以及填充腔体136并且还被布置在PCM层134上方的介电材料138。氧化物140被布置在相邻单位晶格104之间以用于隔开电极132并且隔开相邻单位晶格104的图案化PCM层134。

[0118] 在第一实施例和第二实施例两者中,共振限定层被形成在图案化PCM层114、134中。几何结构的尺寸由图案化PCM层134所限定的纳米颗粒114或腔体136的半径R来限定。此外,几何结构的另一尺寸由纳米颗粒114的厚度T和腔体136的对应深度D来限定。

[0119] 电极112、132可以是导线的一部分,以使得电流可以传输通过电极112、132和PCM层114、134,以用于提供局部加热并因此控制单位晶格104的PCM状态的切换。应理解,控制信号可由电极112、132以许多不同的方式提供。例如,PCM层114、134之下的电极112、132可以一拆为二以用于提供两个电极112、132,并且通过改变连接到这些电极中的至少一者的电压来控制单位晶格104。作为另一替代方案,可以在单位晶格104的堆叠110、130上方提供第二电极,以使得单位晶格104可通过改变连接到这些电极中的至少一者的电压来控制。

[0120] 抗反射涂层(ARC)可被布置在第一和第二实施例中的纳米颗粒114和腔体136上。抗反射涂层可以至少部分地由如上讨论的周围介电材料来形成,但也可使用用于形成ARC的单独材料层。

[0121] 应理解,电极、PCM层、ARC层和周围氧化物的图案化可以按许多不同的方式来改变,并且取决于如将在以下描述的特定实施例。可包括单位晶格104的堆叠中的附加特征的特定实施例可允许进一步定制光学单位晶格性能。此外,可包括或改变特征以便为单位晶格104提供其他附加优势,诸如相邻单位晶格104的电隔离。

[0122] 如图2a-d中所示,单位晶格104的阵列102提供单位晶格的周期性。限定单位晶格104的大小的周期P可以有利地不是太大。

[0123] 使用低于 λ 的周期性(其中 λ 是光学器件100将与其联用的光的波长)可以有利地抑制重像形成。根据一个实施例,周期性可被设为 $P < \lambda/2$ 。

[0124] 为了提供易于制造的光学器件100,周期性可被设为 $P > 2.5R$ 。然而,在一些实施例中,单位晶格104可被布置成彼此非常靠近,以使得周期性可被设为 $P > 2R$ 。

[0125] 周期性可以有利地远低于波长。在这一情形中,每一个单位晶格104可被认为是打开或者关闭的点散射体,这允许获得对光学器件100散射的光的相位的改进的控制。

[0126] 几何结构的尺寸可取决于单位晶格104的堆叠110、130的构造以及材料并因此材料特性的组合。这将在下文示出,其中将指示一些构造的合适尺寸。

[0127] 或许可以基于所期望的光学特性来定义参数范围,在该参数范围内应选择几何结构的尺寸。如上所述,几何结构的尺寸可由圆形形状的半径R来限定。对于其他形状,几何结构的大小或长度可对应于该几何结构的边缘的大小,诸如正方形形状的侧边的长度W。就此,可将该大小与半径相比较,如对应于 $W=2R$ 。由此,对于圆形形状,圆形的直径可被视为对应于几何结构的长度。

[0128] 几何结构可以优选地在以下范围内:

[0129] 最小半径可被设为10nm。这主要受到工艺的限制,因此随着用于形成微型结构的工艺的发展,可设置甚至更小的最小半径。

[0130] 最大半径可基于周期性约束和要使用的波长来指定。最大周期性可通过 $P_{\max}=\lambda/2$ 来给出,如以上所指出的。此外,周期性可以与半径R相关,因为 $P=\alpha R$ (其中 $2<\alpha\leq 5$)。如上文所解释的,给出了 α 的下限,而可选择上限5,因为具有密集的散射阵列可以是合乎需要的,并因此 α 不太可能大于5。这给出了以下表达式:最大半径 $R_{\max}=\lambda/2\alpha$ 。

[0131] 类似于半径大小,可限定可在其内选择几何结构的厚度/深度的范围。

[0132] 最小厚度/深度可被设为20nm。模拟和测试指示更小的厚度/深度不表现出所期望的面内共振。最大厚度/深度应被设为 $\leq 2R$ 以给出所期望的光学特性。

[0133] 在一实施例中,厚度/深度的范围可被定义为 $0.5R\leq \text{厚度/深度}\leq 2R$ 。几何结构的尺寸可在该范围内选择以获得所期望的光学特性。

[0134] 如上所示,ARC可被布置在几何结构上。模拟和测试指示ARC厚度可能需要不同于平片堆叠,因为ARC的功能依赖于腔体/纳米颗粒区域和中间区域中的散射/反射光的组合效果。

[0135] ARC的折射率 n_{ARC} 可被定义为 $n_{\text{环境}}<n_{\text{ARC}}<n_{\text{反射层}}$ 。折射率 n_{ARC} 可以有利地相对于环境而言是相当高的,因为这可意味着光被更高效地捕获。

[0136] 此外,ARC的理论最优厚度 t_{ARC} 对于垂直光入射而言可通过 $t_{\text{ARC}}=(2m+1)\lambda/4n_{\text{ARC}}$ 来给出,其中m是整数($m=0,1,2,\dots$)。

[0137] 此外,在组合层堆叠中,很有可能找到介电ARC层的稍微低于理论最优值的最优厚度。该最优厚度可取决于ARC层位于其顶上的层的小深度以及在这一层中激发的局部化共振。

[0138] 现在参照图3a-1,公开了单位晶格104的堆叠110的包括纳米颗粒114的一些不同构造。这些构造示出了可存在于各种组合中的若干特征。由此,可构想堆叠110的构造的附加特征组合。

[0139] 应理解,堆叠110中的不同特征的尺寸可以变化,并且可选择合适的尺寸以获得堆叠110的期望光学特性。在以下讨论的任何构造中,PCM层114、134的几何结构可通过选择该结构的大小(例如,半径R)和厚度/深度来设计。

[0140] 图3a-1中的堆叠110中的每一者包括电极112以及电极112上的图案化纳米颗粒。电极112可以是金属膜,其可提供反射表面。

[0141] 在图3a中,周围介电材料116被布置在图案化纳米颗粒114的顶部和侧面。介电材料116限定包围纳米颗粒114的材料的折射率。

[0142] 在图3b中,周围介电材料116被布置在图案化纳米颗粒114的顶部和侧面。介电材料116的厚度被限定,并且可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择介电材料116的厚度以及折射率的值。

[0143] 在图3c中,第一介电材料118被布置在纳米颗粒114上,并且可被图案化成具有与纳米颗粒114共同的横向尺寸。第二介电材料116被布置成包围纳米颗粒114和第一介电材料118的堆叠。第一介电材料118可具有比第二介电材料116更大的折射率。可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择第一介电材料118和第二介电材料116的厚度和折射率。

[0144] 在图3d中,周围介电材料116被布置在图案化纳米颗粒114的顶部和侧面。周围介电材料116的横向大小可限定周围介电材料116的宽度。可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择第一介电材料116的厚度、宽度和折射率。

[0145] 在图3e中,第一介电材料116被配置成在图案化纳米颗粒114的顶部和侧面提供固定厚度的层。可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择该层的第一介电材料116的厚度和折射率。

[0146] 在图3f中,介电材料118被布置在纳米颗粒114上,并且可被图案化成具有与纳米颗粒114共同的横向尺寸。纳米颗粒114和第一介电材料118的堆叠可被空气或周围环境包围。可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择介电材料118的厚度和折射率。

[0147] 在图3g中,附加介电材料120被布置在图3f所示的纳米颗粒114和介电材料118上,并且可被图案化成具有与纳米颗粒114和介电材料118共同的横向尺寸,以使得形成纳米颗粒114、第一介电材料118和第二介电材料120的堆叠,该堆叠可被空气或周围环境包围。第一介电材料118可具有比第二介电材料120更大的折射率。可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择第一介电材料118和第二介电材料120的厚度和折射率。

[0148] 在图3h中,纳米颗粒114被布置在图案化电极112上,以使得纳米颗粒114被布置在该电极112的具有与该纳米颗粒114共同的横向尺寸的部分上。电极112的该部分可具有比该电极112的其余部分更大的厚度。图案化电极112上方的纳米颗粒114的堆叠可被介电材料116包围。可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择电极112的具有与纳米颗粒114共同的横向尺寸的部分的厚度、介电材料118的厚度和折射率。

[0149] 在图3i-1中,示出了电极112的不同的图案化。电极112的这些构造可以与如上所示的纳米颗粒114以及布置在纳米颗粒114上/包围纳米颗粒114的各层的结构中的任一者相组合。

[0150] 在图3i中,示出了电极112未延伸到单位晶格104的边缘。这意味着电极112与相邻单位晶格104的电极隔开。

[0151] 在图3j中,示出了电极被隔成两部分112a、112b,这两部分各自可以与纳米颗粒114接触。这可以有利地用于向电极112a、112b提供不同的电位以使得例如电流可被强制通过纳米颗粒114以用于控制纳米颗粒114的加热并由此控制PCM状态。

[0152] 在图3k中,示出了电极112a、112b之间的空间可由介电材料122填充以用于电极112a、112b之间的隔离。此外,相邻单位晶格104的电极之间的空间可由介电材料122填充以用于隔离单位晶格104。

[0153] 在图3l中,示出了电极124被布置在纳米颗粒114上方。电极124可被布置在介电材料116上,介电材料116可包围纳米颗粒114,这与图3b中的构造相对应。应理解,可使用其中

电极124被布置在纳米颗粒114上方的其他构造。例如,电极124可被布置成与纳米颗粒114接触。电极112、124可形成用于控制PCM状态变化的电极对。电极124对于多个单位晶格104可以是共用的,以使得提供给底电极114的电位可用于控制PCM状态变化。

[0154] 纳米颗粒上方的电极124可以是透明的,以确保光传输通过电极124以到达纳米颗粒114。在一个实施例中,电极124可由导电金属氧化物(诸如氧化铟锡(ITO))形成。

[0155] 电极几何形状可被优化以使得各个单位晶格104可被切换。一些示例在图3i-1中给出,其中在用于相邻像素的金属膜之间存在间隙以使得晶格彼此电隔离。此外,其中使用处于接收或非接触模式的透明顶电极的实施例可被考虑。电极的形状和尺寸还可被调整以促进光学共振。不同的实施例包括金属电极,这些金属电极从底部或者从侧面接触纳米颗粒114或这两者的混合。

[0156] 现在参照图4a-f,公开了单位晶格104的堆叠110的包括纳米颗粒114的一些不同构造。这些构造示出了可存在于各种组合中的若干特征。由此,可构想堆叠110的构造的附加特征组合。此外,图3a-1的构造中示出的特征也可以与图4a-f的构造相组合。

[0157] 应理解,堆叠110中的不同特征的尺寸可以变化,并且可选择合适的尺寸以获得堆叠110的期望光学特性。堆叠110中的每一者包括电极112、图案化纳米颗粒114以及电极112与图案化纳米颗粒114之间的间隔层126。间隔层126的厚度和折射率可以在用于设计堆叠110的期望光学特性的任何构造中选择。

[0158] 在图4a中,纳米颗粒114被嵌入周围介电材料116,周围介电材料116形成间隔层126并且还布置在图案化纳米颗粒114的顶部和侧面。介电材料116限定包围纳米颗粒114的材料的折射率。

[0159] 在图4b中,周围介电材料116形成间隔层126并且被布置在图案化纳米颗粒114的顶部和侧面。介电材料116的厚度被限定,并且可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择介电材料116的厚度以及折射率的值。

[0160] 在图4c中,第一介电材料118被布置在纳米颗粒114上,并且可被图案化成具有与纳米颗粒114共同的横向尺寸。第二介电材料116被布置成包围纳米颗粒114和第一介电材料118的堆叠,从而也形成间隔层126。第一介电材料118可具有比第二介电材料116更大的折射率。可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择第一介电材料118和第二介电材料116的厚度和折射率。

[0161] 在图4d中,周围介电材料116形成间隔层126并且被布置在图案化纳米颗粒114的顶部和侧面。周围介电材料116的横向大小可限定周围介电材料116的宽度。可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择第一介电材料116的厚度、宽度和折射率。

[0162] 在图4e中,间隔层126被图案化并且可被图案化成具有与纳米颗粒114共同的横向尺寸。纳米颗粒114被布置在间隔层126上。此外,介电材料118被布置在纳米颗粒114上,并且可被图案化成具有与纳米颗粒114共同的横向尺寸。间隔层126、纳米颗粒114和介电材料118的堆叠可被空气或周围环境包围。介电材料118可具有比间隔层126更大的折射率。可以在设计堆叠110的期望光学特性时选择介电材料118的厚度和折射率。

[0163] 在图4f中,示出了如图4e中的对应构造。然而,在此处,介电材料118和间隔层126由相同的材料形成。在此,还指示电极112可被图案化成与相邻单位晶格104的电极隔开。

[0164] 在以上讨论的一些实施例中,参见图3b-d、图3l、图4b-f,介电堆叠的厚度可被设

计成实现抗反射涂层效果。介电环境可以是低折射率材料(例如, SiO_2)或高折射率材料(例如, SiN)。

[0165] 这些构造可被设计成使得层堆叠最小化来自PCM颗粒的反射,但不充当用于颗粒之间的金属膜的ARC。对于在堆叠周围提供空气或周围环境的情形,可以有利地使用薄介电衬里层来保护堆叠110。

[0166] 在一些实施例中,(多层)ARC在纳米颗粒114的顶上被图案化,参见图3c、3f、3g、图4e-f。

[0167] 现在参照图5a-1,公开了单位晶格104的堆叠130的包括腔体126的一些不同构造。这些构造示出了可存在于各种组合中的若干特征。由此,可构想堆叠130的构造的附加特征组合。

[0168] 应理解,堆叠110中的不同特征的尺寸可以变化,并且可选择合适的尺寸以获得堆叠110的期望光学特性。在一些讨论的任一构造中,几何结构可通过选择腔体136的大小(例如,半径R)和深度来设计。

[0169] 在图5a中,图案化PCM层134限定腔体136。介电材料138填充腔体136并且还被布置在PCM层134上方。可以在设计堆叠130的期望光学特性时选择介电材料138在PCM层134和腔体136上方的厚度以及介电材料138的折射率。

[0170] 在图5b中,第二介电材料142被形成在介电材料138上。第二介电材料142可具有比介电材料138更小的折射率。可以在设计堆叠130的期望光学特性时选择介电材料138、142的厚度和折射率。

[0171] 在图5c中,没有材料用于填充腔体136。图案化PCM层134和腔体136被暴露给空气或周围环境。在此,在设计堆叠130的期望光学特性时只可选择PCM层134的尺寸。

[0172] 在图5d中,示出了如图5c中的类似构造。在此,薄金属衬里层144被示为在PCM层134和腔体136上。该衬里层144可具有良好的等离子特性以及非常有限的厚度(5-10nm),因为该衬里层可允许改进腔体136的等离子共振,同时仍允许几何结构通过切换PCM层134的状态而具有可调谐性能力。在设计堆叠130的期望光学特性时可选择金属衬里层144的厚度。

[0173] 在图5e中,腔体136被形成在整体PCM层134中。由此,限定PCM层134的第一厚度以提供腔体136的底面。腔体136在PCM层134中图案化以使得具有大于第一厚度的第二厚度的图案化壁被形成在该PCM层134中。腔体136和PCM层134被暴露给空气或周围环境。在设计堆叠130的期望光学特性时可选择PCM层134的第一厚度。

[0174] 在图5f中,形成了如图5e所示的对应腔体136。在PCM层134的图案化壁上,形成介电材料146的图案,该图案具有与PCM层134的图案化壁相对应的图案。PCM层134中的腔体136和图案化壁以及介电材料146可被暴露给空气或周围环境。可以在设计光学堆叠130的期望特性时选择PCM层134的第一厚度、介电材料146的厚度和折射率。

[0175] 在图5g中,形成了如图5f所示的对应结构。第二介电材料148被布置在第一介电材料146上。第二介电材料148可具有比第一介电材料146更小的折射率。PCM层134中的腔体136和图案化壁以及第一和第二介电材料146、148可被暴露给空气或周围环境。可以在设计光学堆叠130的期望特性时选择PCM层134的第一厚度、第一介电材料146和第二介电材料148的厚度和折射率。

[0176] 还应理解,作为对布置在PCM层134中的图案化壁上的介电材料146、148的替换或补充,可以在图案化壁上布置金属层。

[0177] 在图5h中,形成了如图5e所示的对应腔体136。在此,薄金属衬里层144被示为在PCM层134和腔体136上。该衬里层144可具有良好的等离子特性以及非常有限的厚度(5-10nm),因为该衬里层可允许改进腔体136的等离子共振,同时仍允许几何结构通过切换PCM层134的状态而具有可调谐性能力。可以在设计堆叠130的期望光学特性时选择PCM层134的第一厚度、金属衬里层144的厚度。

[0178] 在图5i中,在电极132中形成图案以便在该电极132中形成腔体136的一部分,以使得图案化壁被形成在电极132中。PCM层134的图案被形成在包围腔体136的电极132的图案化壁上。电极132中的腔体136和图案化壁以及PCM层134可被暴露给空气或周围环境。可以在设计光学堆叠130的期望特性时选择电极132的图案化壁的厚度以及PCM层134的厚度。

[0179] 在图5j中,单位晶格104的共振限定层包括布置在电极132上的PCM层134。此外,金属层150被布置在PCM层134上。金属层150被图案化以限定PCM层134上的腔体136,其中PCM层134形成腔体136的底面。腔体136和金属层150被暴露给空气或周围环境。在设计堆叠130的期望光学特性时可选择PCM层的厚度。

[0180] 在图5k中,形成了如图5j所示的对应结构。介电材料138填充腔体136并且还被布置在图案化金属层150上方。可以在设计堆叠130的期望光学特性时选择介电材料138的厚度和折射率以及PCM层134的厚度。

[0181] 在图5l中,共振限定层包括间隔层152,该间隔层被布置在PCM层134和图案化金属层150之间。形成间隔层152的介电材料154还可被配置成填充金属层152中的腔体136并且被布置在金属层152和腔体136上方以包围该金属层152。可选择介电材料154在金属层152上方的厚度、间隔层152的厚度、介电材料154的折射率以及PCM层134的厚度以用于设计堆叠130的期望光学特性。

[0182] 在图5a-1中的构造中,尤其示出了共振腔136可被形成在形成电极132的金属膜132上的PCM层134中,共振腔可被形成在金属膜132上的整体PCM层134中,并且共振腔可被形成在PCM层134顶上的金属层150中。

[0183] 共振腔136可被嵌入介电基质,参见例如图5a-b、5k-1。在一些实施例中,介电层堆叠被设计成充当用于其中形成腔体136的PCM层或金属层的抗反射涂层。这可包括设计介电层堆叠以使其作用于PCM层或金属层中的一者的ARC。

[0184] 示出了共振腔136可被暴露给空气/周围环境。在这些情形中,可以有利地提供用于保护结构的薄介电衬里层。

[0185] 在图5l中,指示节点间隔层被布置在下面的金属层(电极)132与共振腔之间。应理解,关于提供电极132与腔体136之间的间隔层的这一主题的变化对于其他实现是可能的,诸如整体PCM中的腔体,其中该PCM在腔体136的底部的厚度足够小。

[0186] 在其中示出了薄金属衬里层144的一些实施例(参见图5d、5h)中,衬里144也可用作电极。

[0187] 应理解,在图5a-1的任何构造中,可以在电极132中的相邻单位晶格104和/或用于限定腔体136的结构之间布置间隙。间隙可以例如提供热隔离,以使得对一个单位晶格104的PCM状态切换的控制不影响相邻单位晶格104。

[0188] 还应理解,以上针对图3-4讨论的电极112的任何构造还可以与图5a-1中的构造联用。

[0189] 通过恰当地选择参数,或许可设计对多个波长起作用的单位晶格构造。从以下示出的示例中,可以看到单个单位晶格构造可适合两个显著不同的波长,但腔体的面内尺寸稍有不同。因此,通过打破此类腔体的面内对称性(例如,矩形或椭圆形形状),两个波长可以在这两个波长用垂直线性偏振来处理的情况下同时与同一腔体联用。还应理解,包括纳米颗粒114的单位晶格构造可以类似地被设计成适合两个不同波长。

[0190] 由于单位晶格104的总体光学特性是通过组合多个共振来实现的,因此对于权衡不同共振以便在单个单位晶格构造内的两个(或更多个)目标波长中的每一者处获得稍微降低的总体性能是有空间的。

[0191] 由此,设计用于三个不同波长的单个单位晶格构造或许也是可行的。例如,可使用六边形形状,该形状可允许单位晶格被适配成针对三个不同波长提供期望特性。

[0192] 在当前方法下,当改变PCM状态时针对多个波长的所有状态将被同时切换,但或许可以按这样的方式来设计单位晶格构造:对于一个波长单位晶格将打开(反射/透射),而对于另一波长单位晶格将关闭(不反射/不透射)。例如,单位晶格104将被配置成具有对于一个波长是高反射性的,而对于另一波长是高吸收性的第一(例如,晶态/非晶态)状态。

[0193] 现在参照图6,将讨论电极202、204的具体构造。

[0194] 电极202可从底部对晶格进行寻址以用于切换PCM。电极202不一定需要与PCM接触,因为构想切换可以是热辅助的。在图6中的构造中,从底部对单位晶格104进行寻址的电极202可具有对单位晶格104的光学性能的最小干扰。电极202、204的确切尺寸可以是用于进一步增强单位晶格104的光学性能的另一设计参数。

[0195] 如图6所示,电极202和204可以按交叉点架构布置,以使得沿着各排单位晶格104延伸的顶电极202在每一个单位晶格104的位置中与沿着各列单位晶格104延伸的底电极204交叉。由此,每一个单位晶格104可通过在底电极202和顶电极204上提供的组合信号来寻址。

[0196] 顶电极204甚至可被图案化以便在金属层150中形成腔体136,例如根据图5j-1所示的任一个实施例。在这一实现中,腔体136相对于信号线的相对尺寸可以是可被选择以用于设计光学性能的另一参数。

[0197] 应理解,在上述构造中的至少某一些构造中,单位晶格104可用于通过用透明导电电极替换底部金属电极来基于透射地形成三维光场。

[0198] 现在,将呈现一些模拟结果以给出针对一些实施例的几何结构的合适尺寸。

[0199] 在所示所有模拟中,铝被用作金属层(底电极),GSP被用作PCM,并且 SiO_2 和SiN被用作分别使用折射率1.46和1.9的介电材料。共振结构是针对分别为蓝、绿和红的488、532和633nm波长来设计的,因为这些波长是常用激光波长。对于所有共振腔体图,当未明确指定时,尺寸均以纳米为单位。

[0200] 对于共振单位晶格上的初始3D模拟,盘形纳米颗粒或圆柱形腔体的尺寸根据其针对相应情形的半径和厚度或深度来定义。

[0201] 当模拟这些纳米结构的尺寸时,周期P被固定在半径的4倍(占空比50%)且使用周期性边界条件。这在实际示例中可以改变,但以下模拟仍可用于原理论证。

[0202] 图7a-d示出了与图3a和图4a中的被研究以用作单位晶格104的构造相对应的两个不同的GST纳米颗粒几何形状的示意性概览。图7a中示出了被直接置于铝膜顶上的单个盘形纳米颗粒,图7b中示出了通过薄SiO₂间隔与该铝膜隔开的同一颗粒。

[0203] 在这两个情形中,纳米颗粒114被嵌入氧化物基质中,因此在该情形中不存在明确限定的面外法布里珀罗型腔体。在本公开的一些实施例中,这可以是供在设计单位晶格104时选择以进一步提升性能的一个或多个参数。

[0204] 在对用于图7a和7b中的构造的纳米颗粒114的半径R和厚度T的简单扫描中,对于GST的两个状态观察到强共振行为,该强共振行为导致两个失谐共振状态。为了评估图7a中的单位晶格104的性能,我们查看图8a-f中的两个GST状态之间的反射比。在图8a-c的图表中,示出了反射比晶态/非晶态,而在图8d-f的图表中,示出了反射比非晶态/晶态。

[0205] 从这些反射比中,清楚的是强共振存在于这两个GST状态中,但在最大反射比方面,对于其中晶态是共振的颗粒尺寸观察到最高值。图9a示出了反射光谱,图9b示出了对于针对蓝光、绿光和红光的三个所选情形(由图8d-f中的白圈指示)的反射比。图9b中的虚线指示针对与纳米颗粒相同的厚度的连续膜的反射比,以示出局部化共振对所观察到的效果的影响。

[0206] 清楚的是,纳米颗粒114中的局部化共振引起单位晶格104中的大反射比,因为具有类似厚度的膜堆叠表现出相当扁平的响应。值得注意的是,GST本身可充当用于下面的铝膜的抗反射涂层,但效率低。

[0207] 在空气中,相比于氧化物中的情形GST是低效ARC,因为GST与环境之间的较大折射率对比引起第一界面处的大反射,由此入射光的仅仅一小部分将被允许在由GST层形成的腔体中共振。在以上示出的图案化情形中,清楚的是,在局部化颗粒共振下,存在高效得多的吸收,这允许获得将导致具有良好的开/关比的高效像素的大反射比。

[0208] 对于图7b所示的第二纳米颗粒构造,已完成对GST颗粒的半径R和厚度T以及铝膜和颗粒之间的氧化层的间隔厚度S的扫描。为了标识将被用作单位晶格104的最佳候选,图10指示可因变于间隔厚度来获得的最大反射比,而不管纳米颗粒114的确切尺寸如何。在图10中,评估晶态/非晶态(C/A)和非晶态/晶态(A/C)的反射比。

[0209] 相比于图7a所示的没有GST颗粒与铝之间的间隔层的构造,清楚的是,最大反射比在包括间隔层时达到更大的幅值。为了理解这些改进的底层机制,可研究这两个情形之间的差异。

[0210] 在图11a-f中,示出了针对三个不同波长对于40nm的间隔层的晶态和非晶态之间的反射比(图11a-c中的图表)以及针对这三个不同波长对于60nm的间隔层的非晶态和晶态之间的反射比(图11d-f中的图表)的概览。应注意,此处的标度饱和于比图8a-f所示的值高一个数量级的值。

[0211] 总体上,当在纳米颗粒114和下面的铝膜112之间增加恰当设计的间隔层时,对于这两个情形(晶态/非晶态以及非晶态/晶态)获得大得多的反射比。此外,可以看到对于这两个状态的共振情况现在对于更小的GST厚度出现,而用以实现共振的面内尺寸非常类似于没有间隔层的颗粒情形。对于所选情形(由图11a-f中的图表中的圆圈指示)的反射光谱和对应反射比在图12a-d中示出。

[0212] 从这些光谱中,有助于提高开/关比方面的性能的若干因素可被标识。通过在GST

颗粒与下面的铝膜之间引入间隔层,两个GST状态中的主要共振与没有间隔层的情形相比在光谱上隔得更开,这使得更容易提高两个GST状态之间的反射比。

[0213] 由于该更大的光谱隔开,高反射状态中的反射强度被提高,因为工作波长(与在低反射状态中出现共振的波长相对应)在光谱上更远离在高反射状态中出现共振的波长。可以注意到,更小的间隔厚度S通常导致两个GST状态中的共振模式的更大隔开。因此,更小的间隔厚度S可以是有利的,尤其是在进行到较小的散射周期时,因为然后两个状态中的共振将开始加宽并具有更小的峰值幅度。

[0214] 在比较对于间隔厚度的两个所选情形时,可以看到对于两个GST状态(被设计为低和高反射状态),反射比和反射强度两者都处于相同的数量级。由于GST在非晶态中的折射率大于在晶态中的折射率的事实,因此在所有情形中颗粒共振在针对非晶态情形的更短波长处发生。因此,进行其中最强吸收在晶态中出现的设计可以是有利的,这允许具有更小共振结构并因此允许可能最高的单位晶格密度。

[0215] 在将图7b所示的包括铝和GST之间的间隔层的构造与图7a所示的没有间隔层的构造相比较时,也清楚的是,低反射状态中的反射强度大约低一个数量级。该效果可归因于以下事实:GST纳米颗粒中的共振现在耦合到下面的膜,在该处共振将诱发异相偶极子,从而使整个电场分布本质上将是四极的。该效果已被用来生成完美的吸收体。

[0216] 现在转向包括单位晶格110中的腔体136的构造,研究了一个示例,但应理解,如图5a-1所示的不同实施例也可被实现。

[0217] 在此处研究的特定实现中,存在一个增加的特征(相比于图7所示且以上研究的构造),即将SiN用作ARC。将这一ARC增加到纳米颗粒几何形状可潜在地提高其性能。图13概述了在铝膜132顶上的GST 134中限定的腔体136的单位晶格几何形状且包括SiN 138作为ARC。

[0218] 在该基本构造中,存在可被选择以调谐腔体共振的三个参数,即GST中的腔体的半径R和深度D以及GST顶上的SiN ARC的厚度T。图14a-c示出了对于不同ARC厚度(取决于所设计的波长)观察到的晶态和非晶态GST状态之间的反射比。

[0219] 对于图14a-c所示的反射比,反射值的饱和值被设为30,而在对于所有腔体的最优设计下所获得的比值要大得多。然而,可以看到,同样对于更小的腔体大小,对于非常紧凑的腔体可达到相对较大的反射比,就增大单位晶格104的阵列102中的单位晶格密度而言,这可以是有利的。

[0220] 最优设计用图14a-c中的每一个图表的右手侧圆圈来指示,而具有较低反射比的更紧凑版本用每一个图表的左手侧的另一圆圈来指示。对于圆圈所指示的这些所选情形,对应的光谱和取决于波长的反射比在图15a-d中标绘。

[0221] 在图15a-b的图表中,反射光谱和反射比是针对由图14a-c中的图表的右手侧圆圈指示的最优设计来指示的。在图15c-d的图表中,反射光谱和反射比是针对由图14a-c中的图表的左手侧圆圈指示的更紧凑设计来指示的。

[0222] 对于经优化的设计,局部化腔体共振非常明显且对于所有颜色反射比约为100。对于具有25nm半径的更紧凑版本,观察到非晶态中的明显共振,并且观察到晶态下的不明显得多的共振。此外,显而易见的是,两个GST状态中的共振相比于经优化设计是加宽的(且对于蓝色和绿色振幅减小),这可归因于仅仅100nm (4R) 的减小的周期,以使得相邻腔体中的

共振模式可以强烈得多地相互作用。

[0223] 图13的构造中的SiN层可以在提供良好光学特性中扮演重要角色。相信效果是双重的：

[0224] 腔体内增加的折射率允许进一步缩小腔体尺寸。

[0225] 在GST顶上SiN充当ARC ($T \sim \lambda/4n$) ,而在腔体内厚度更大 ($T+D$) ,则意味着用作铝电极上的ARC并非是优化的。

[0226] 在上文中,主要参考有限数量的示例描述了本发明构思。然而,如本领域技术人员容易理解的,在由所附权利要求书限定的本发明构思的范围内,除了上面公开的示例以外的其他示例同样是可能的。

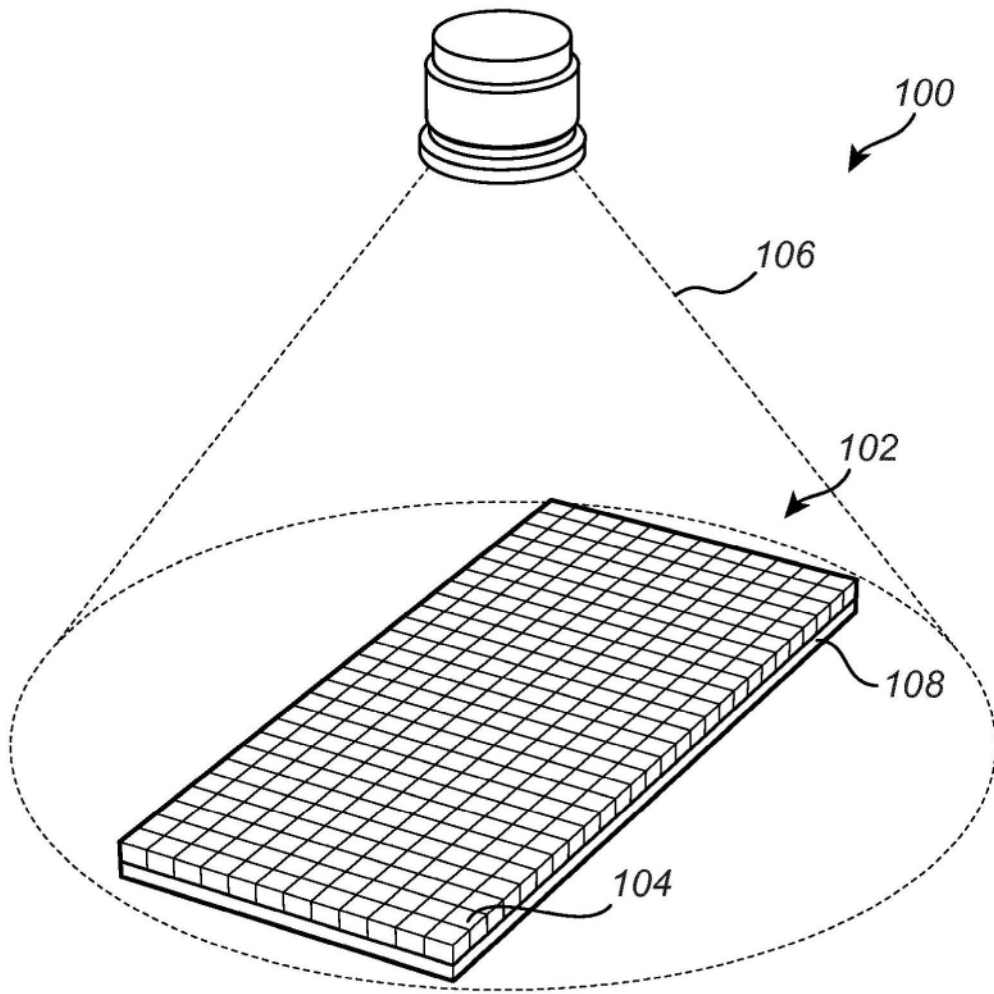


图1

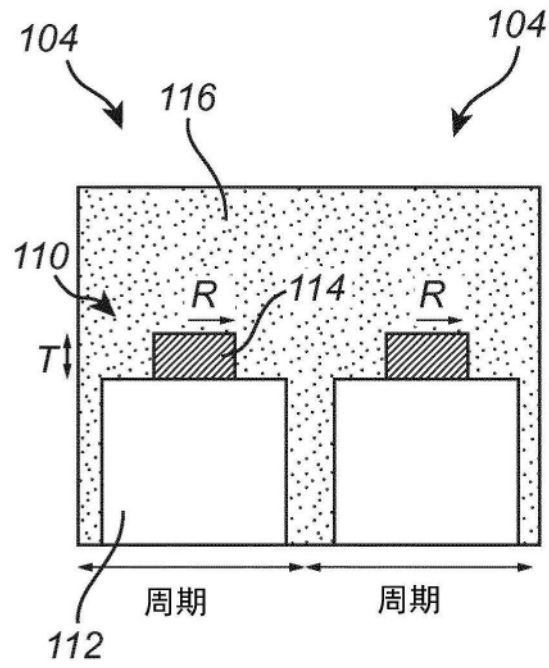


图2a

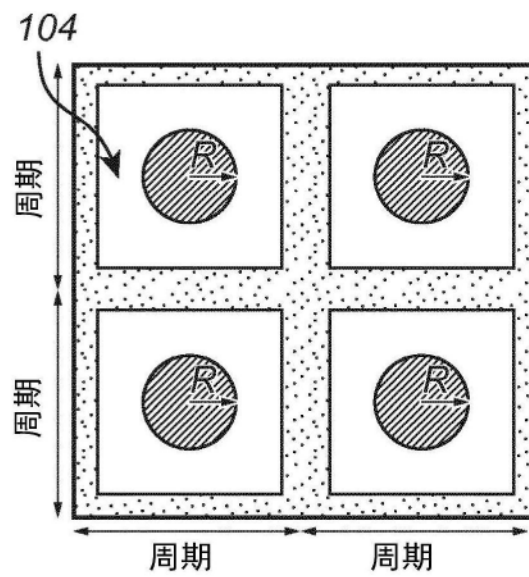


图2b

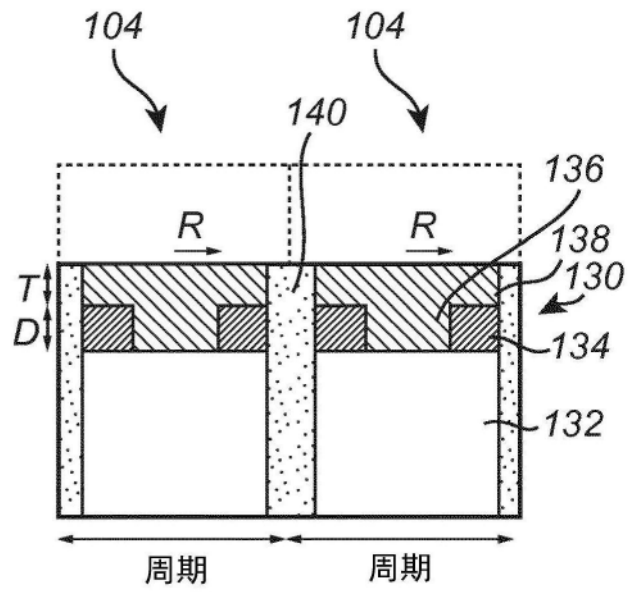


图2c

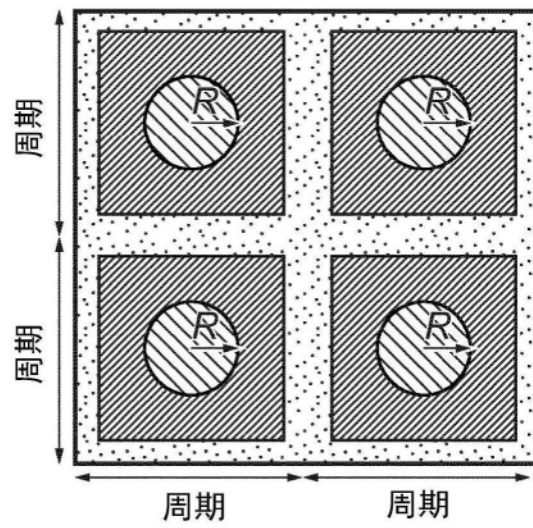


图2d

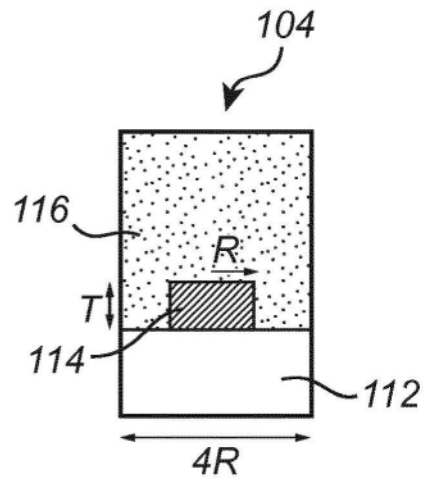


图3a

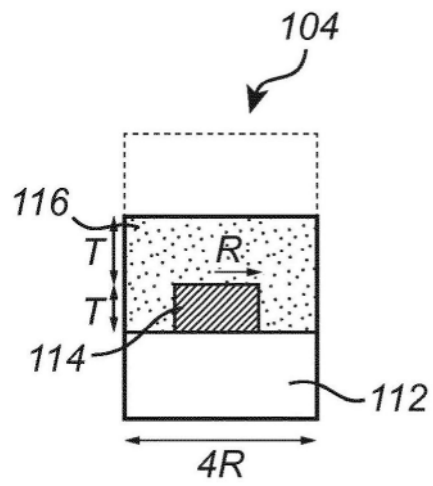


图3b

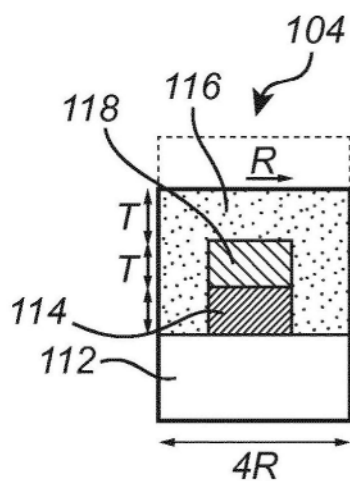


图3c

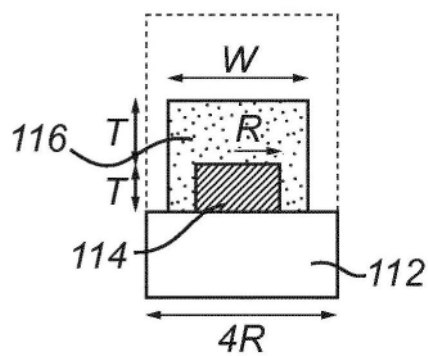


图3d

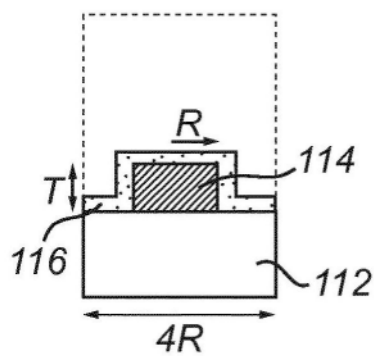


图3e

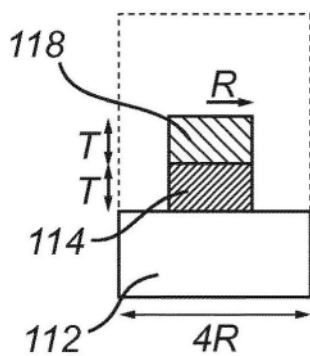


图3f

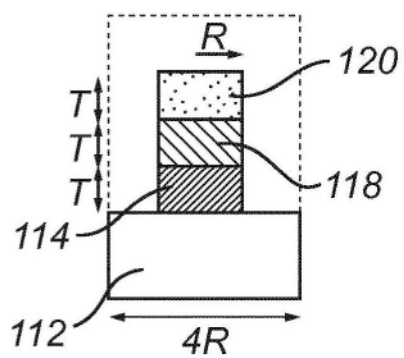


图3g

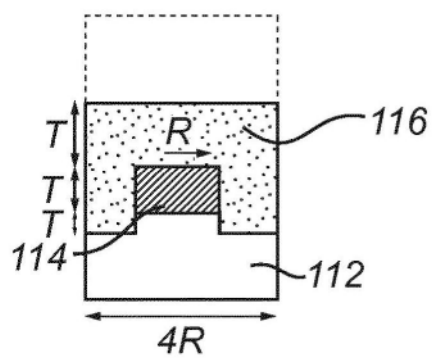


图3h

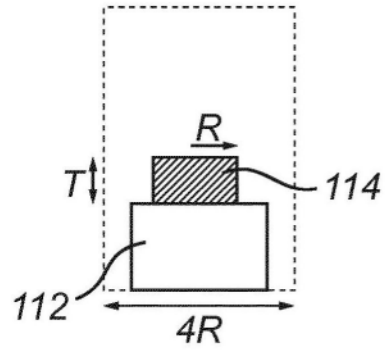


图3i

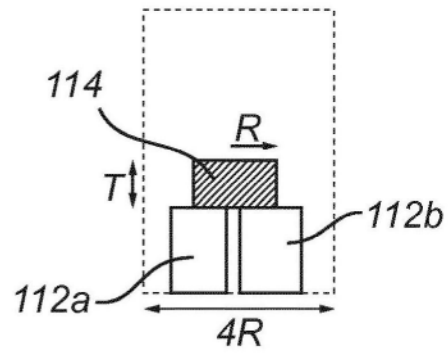


图3j

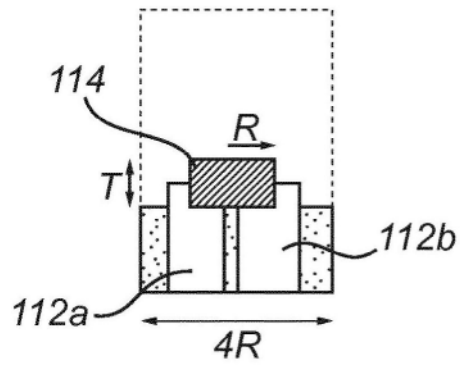


图3k

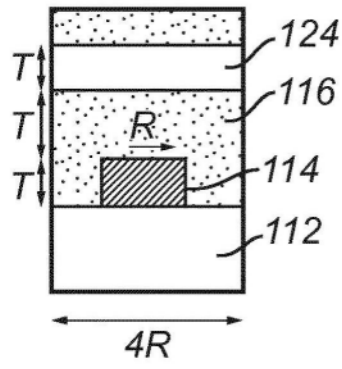


图31

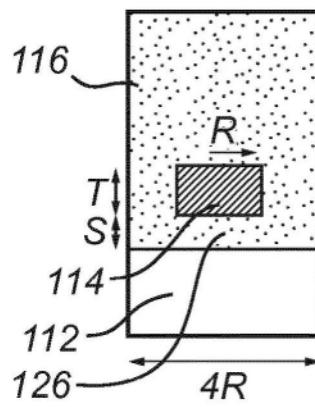


图4a

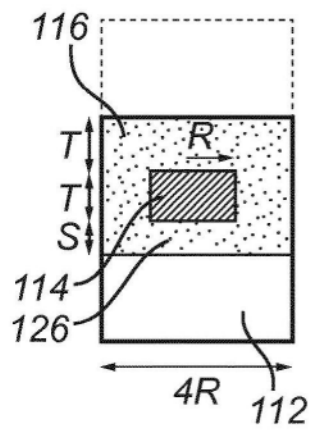


图4b

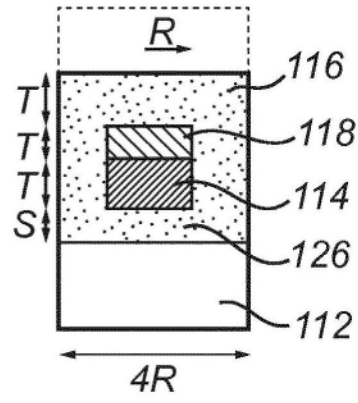


图4c

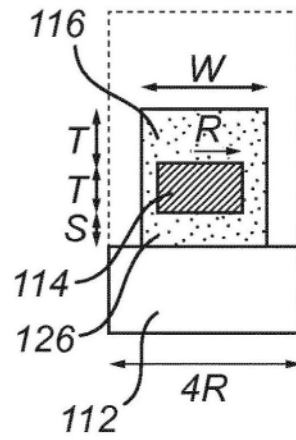


图4d

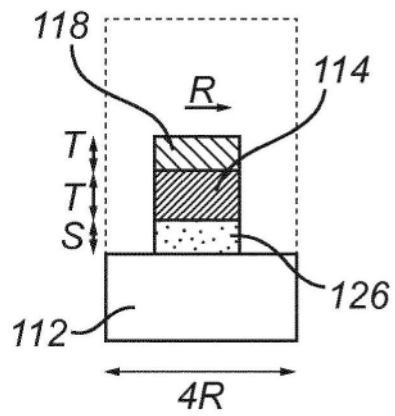


图4e

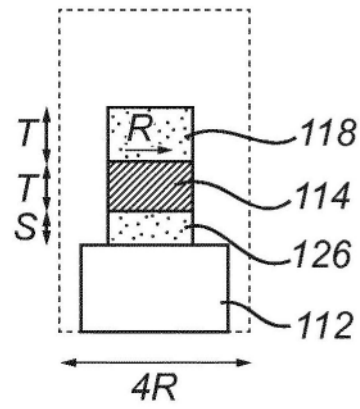


图4f

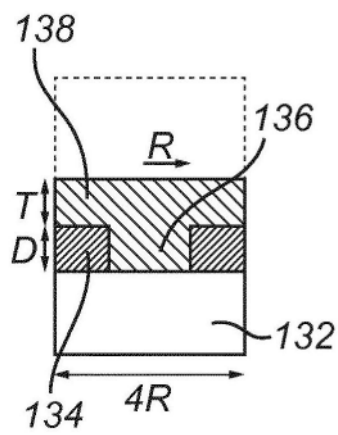


图5a

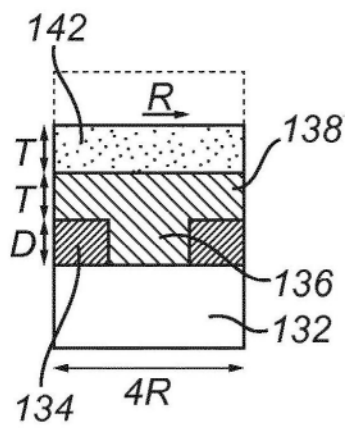


图5b

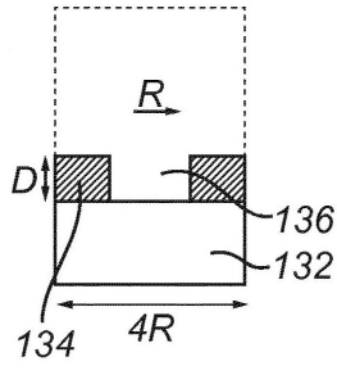


图5c

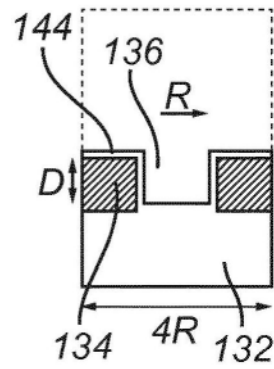


图5d

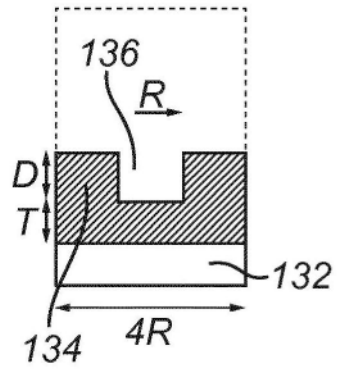


图5e

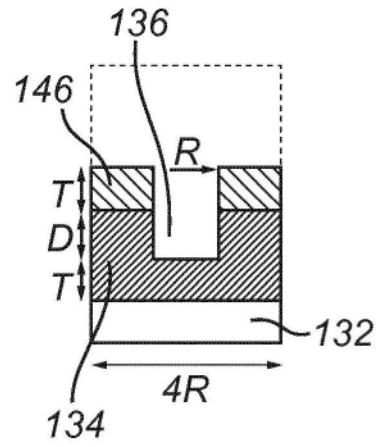


图5f

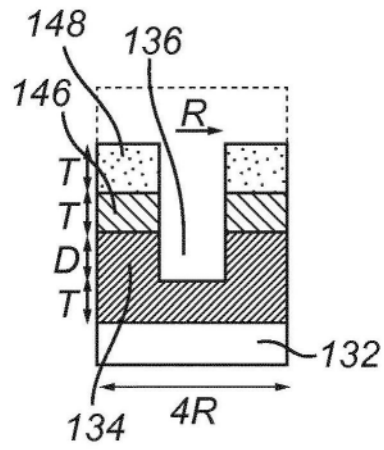


图5g

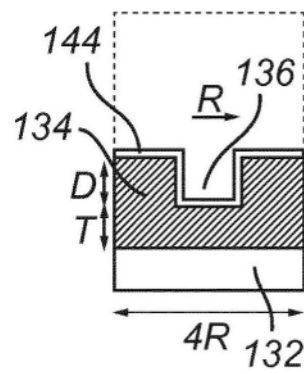


图5h

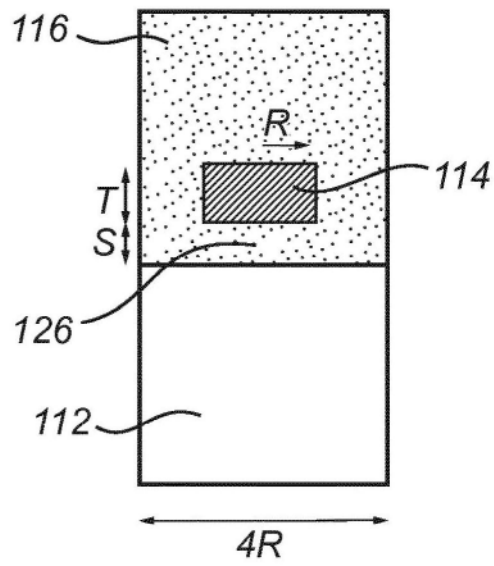


图7b

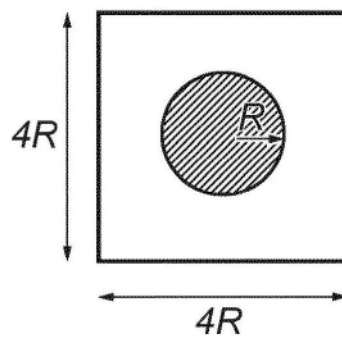


图7c

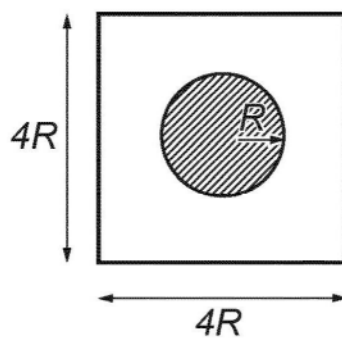


图7d

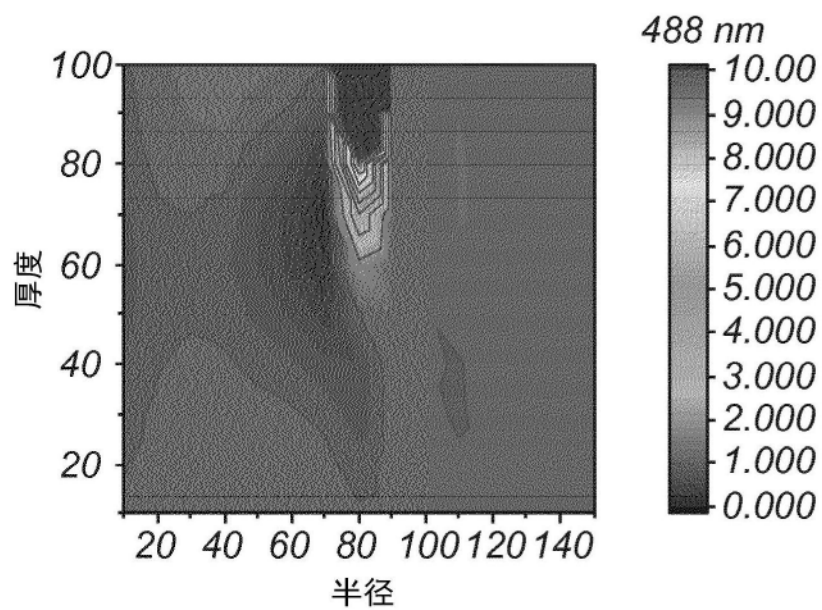


图8a

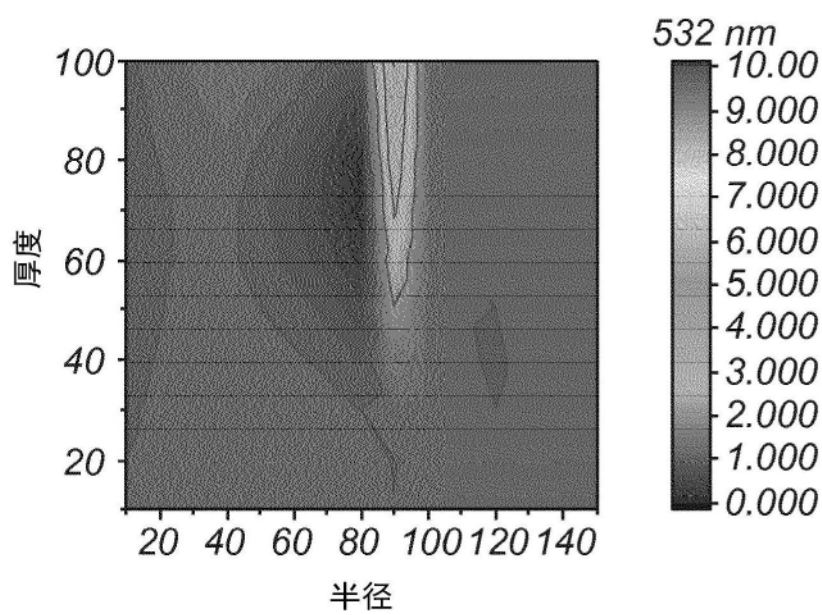


图8b

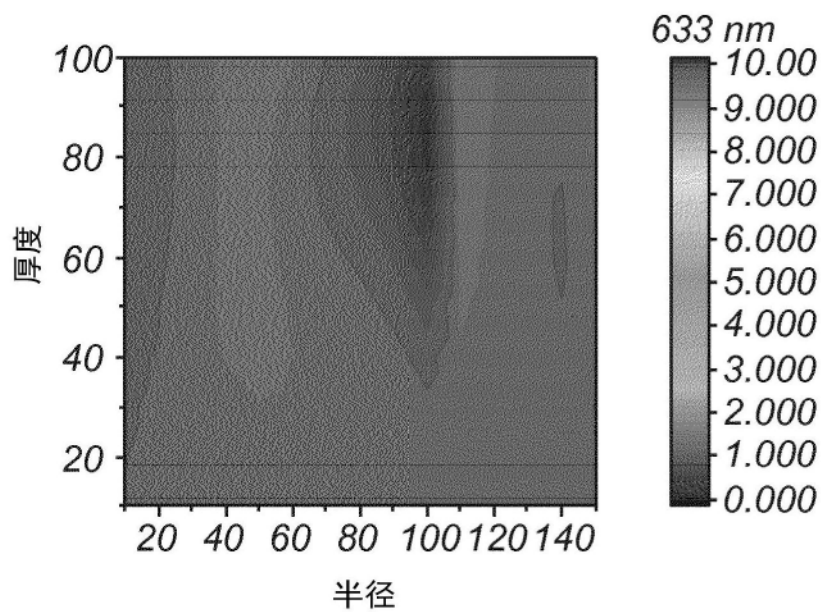


图8c

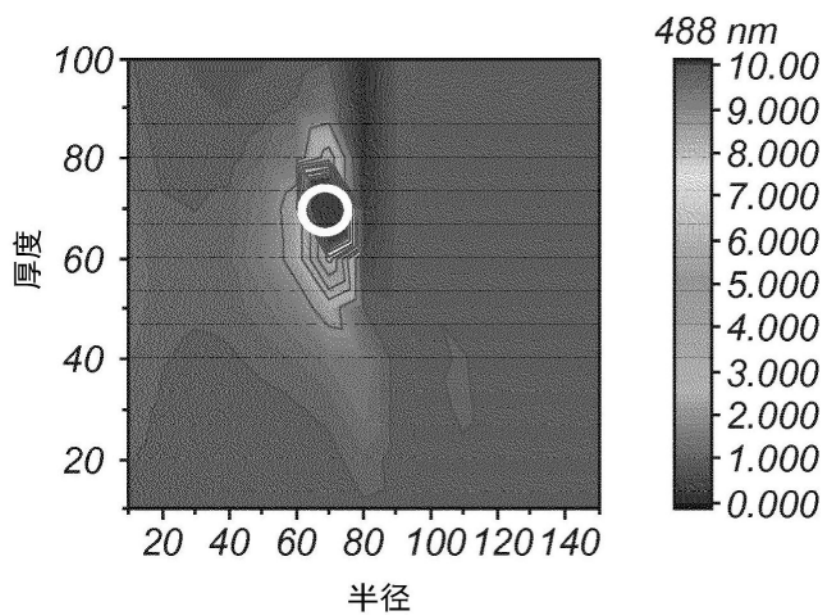


图8d

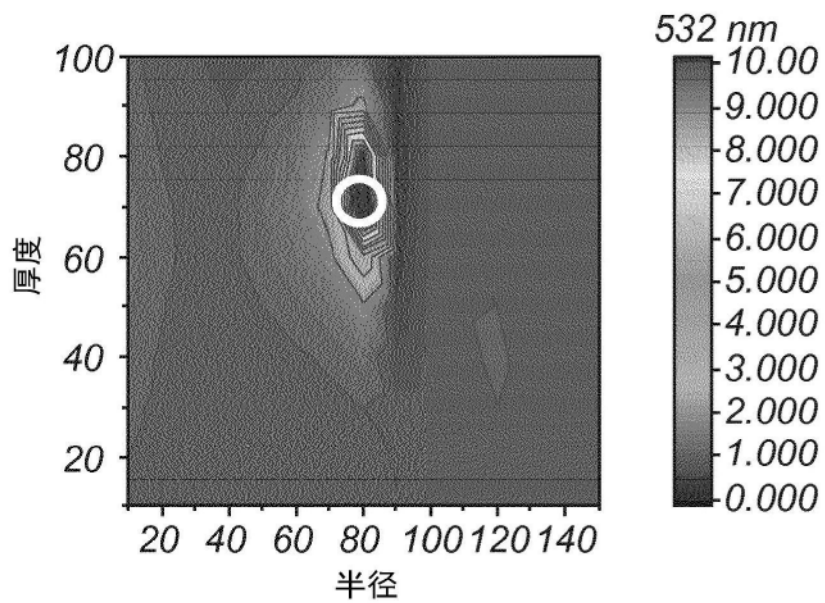


图8e

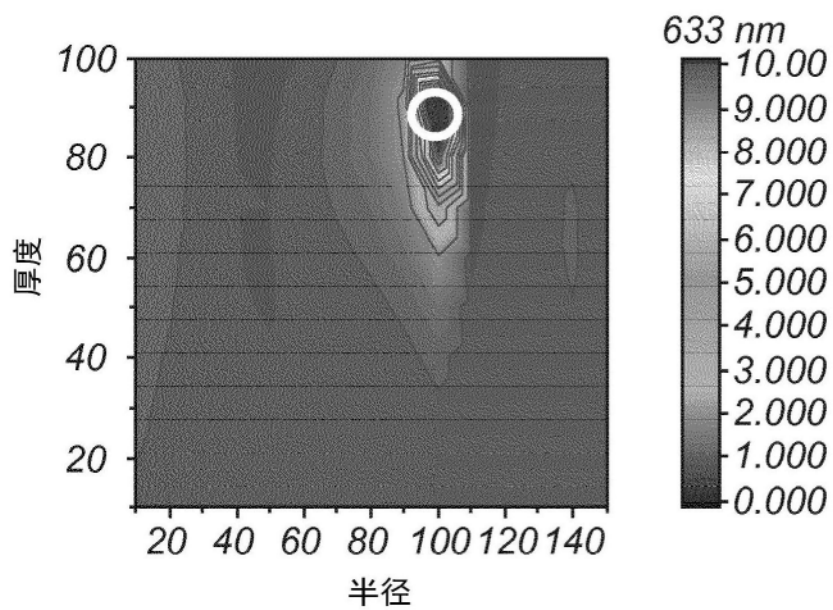


图8f

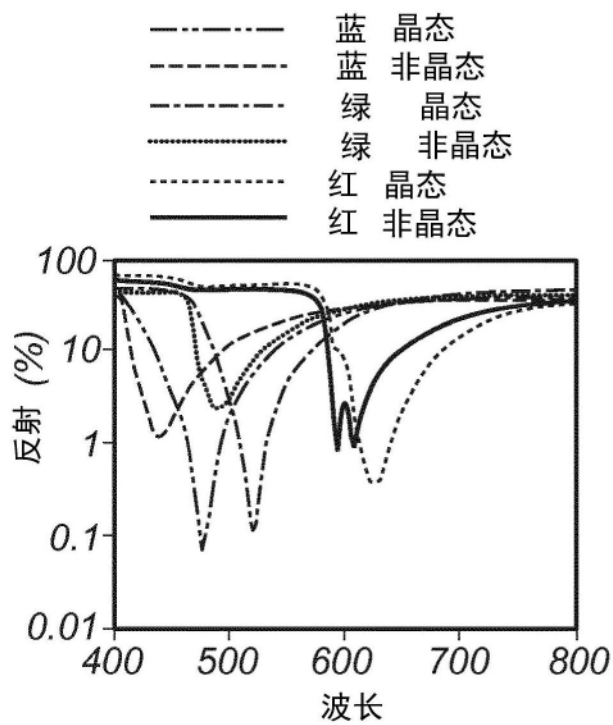


图9a

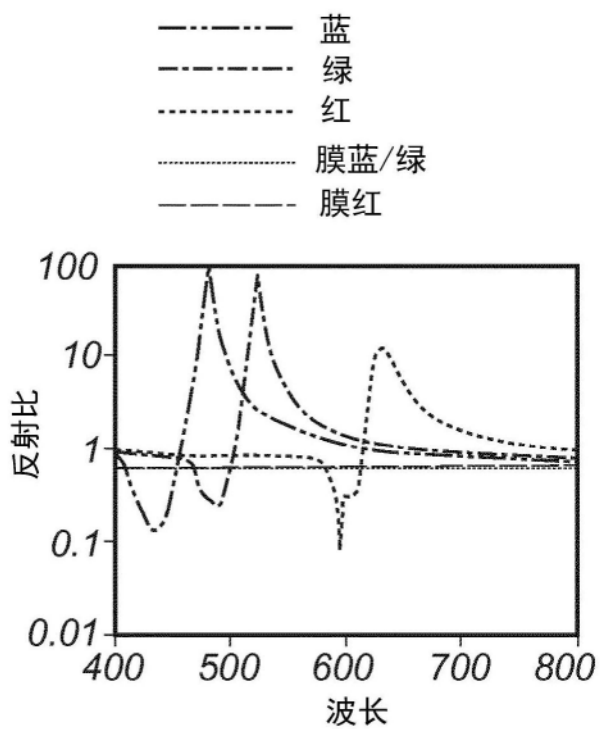


图9b

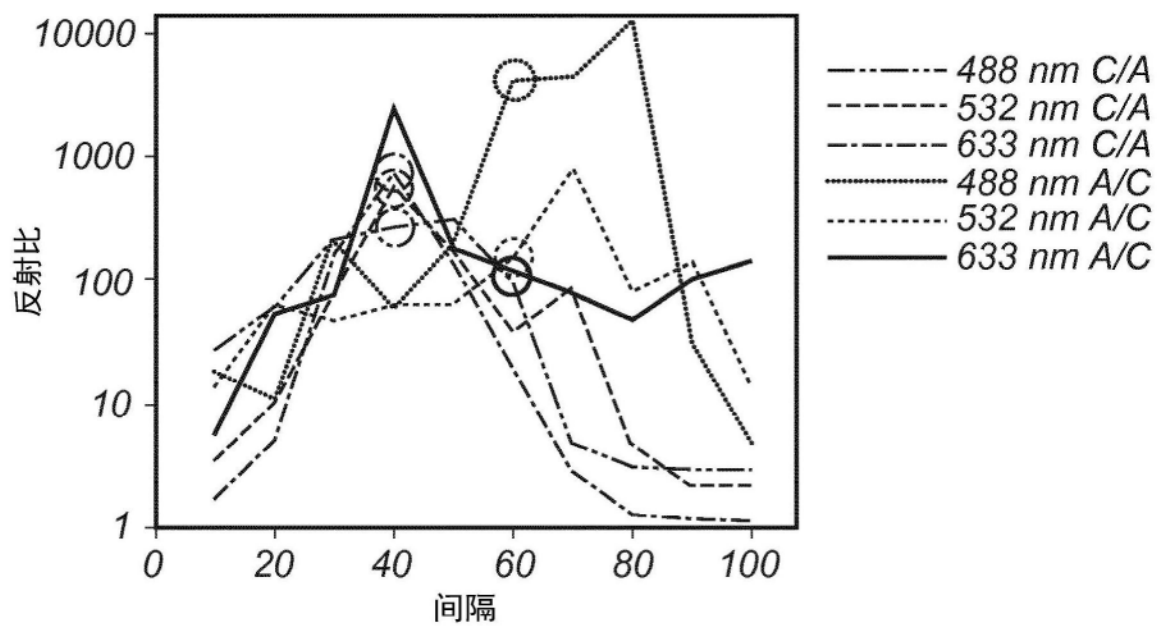


图10

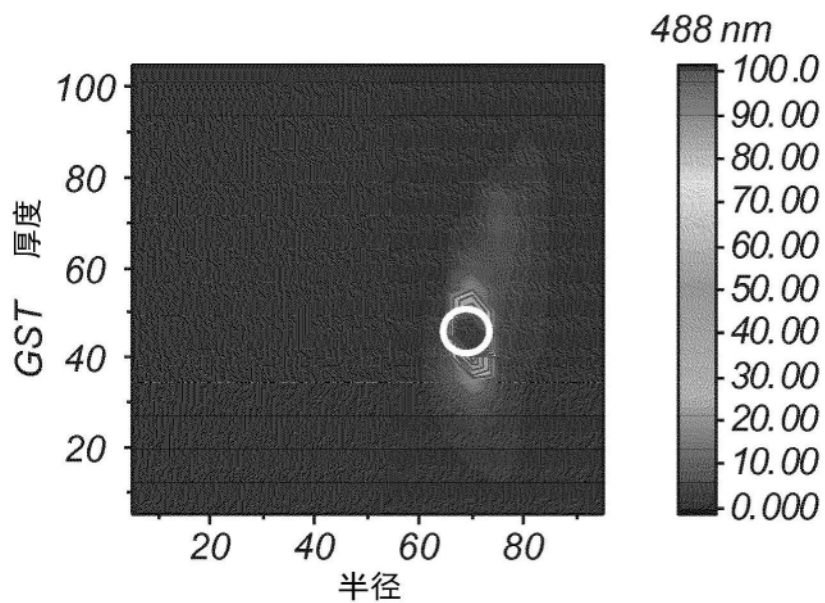


图11a

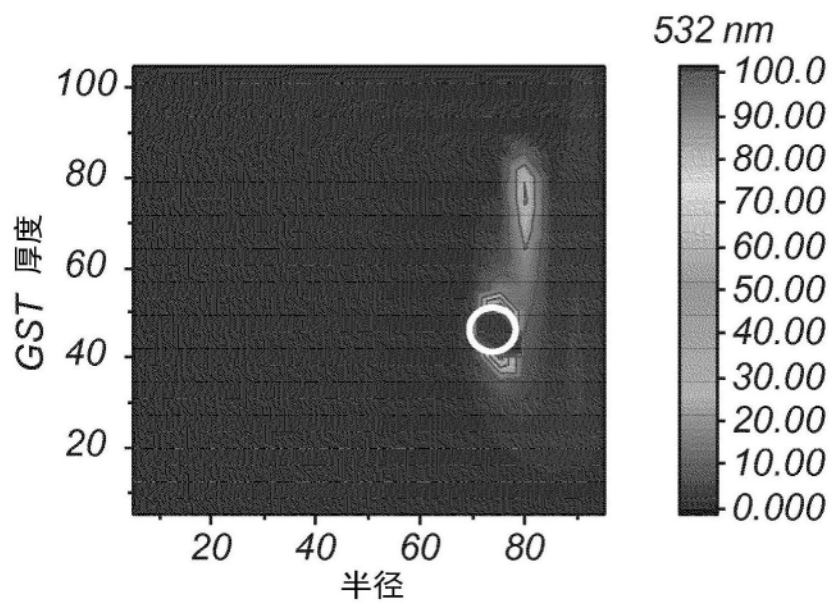


图11b

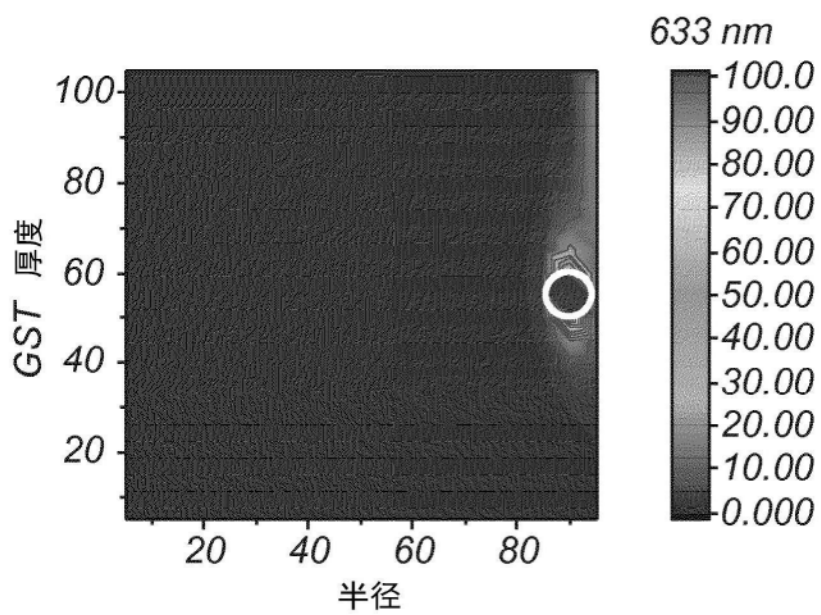


图11c

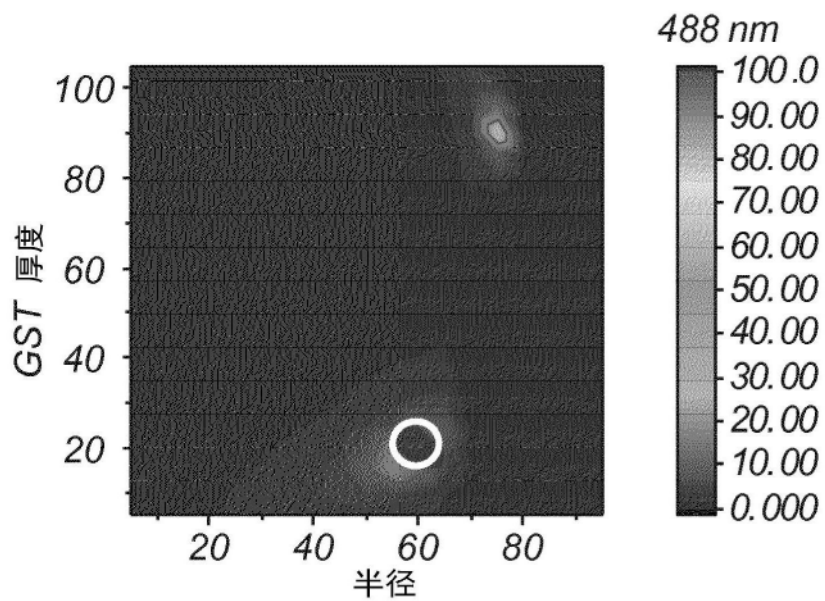


图11d

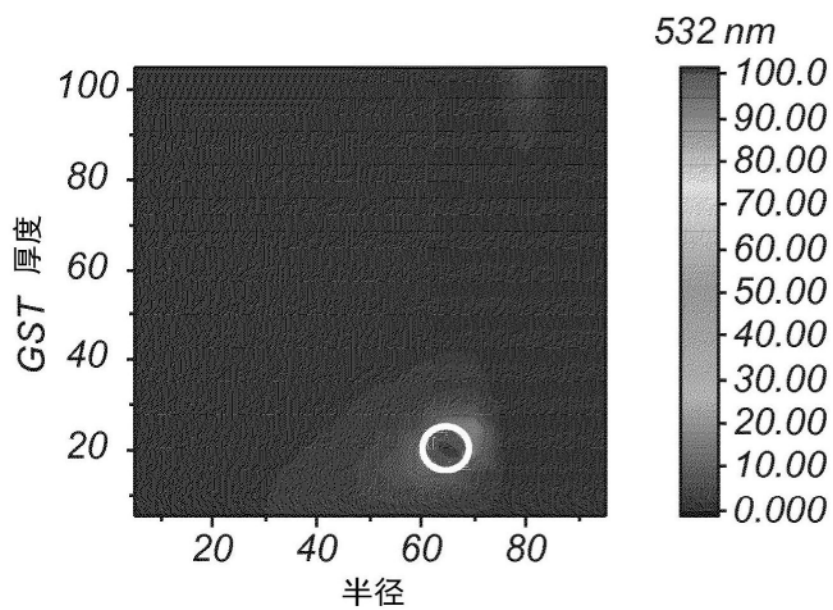


图11e

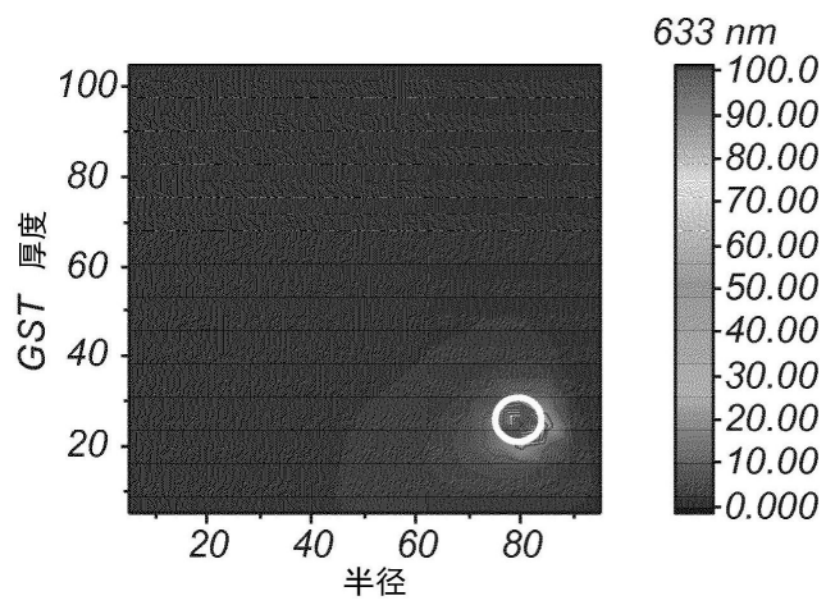


图11f

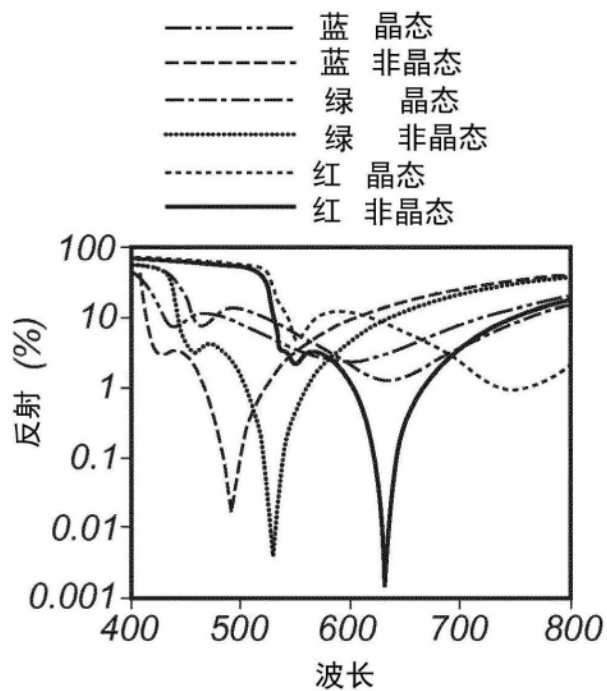


图 12a

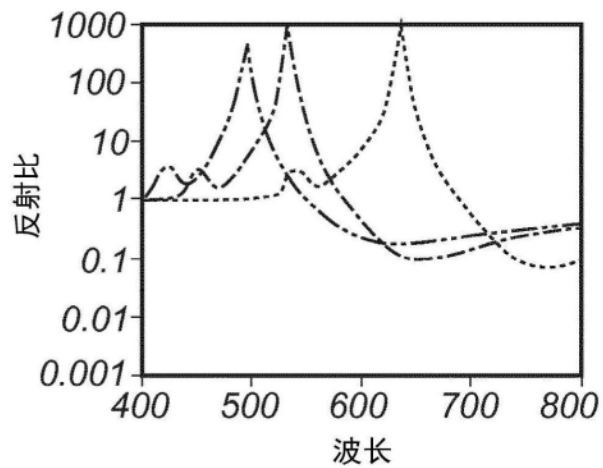


图 12b

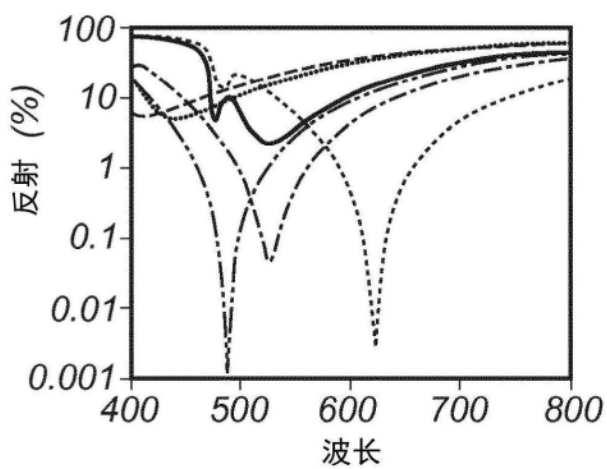


图 12c

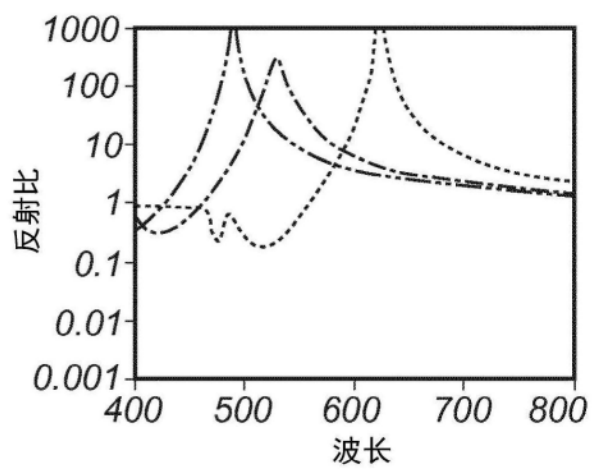


图 12d

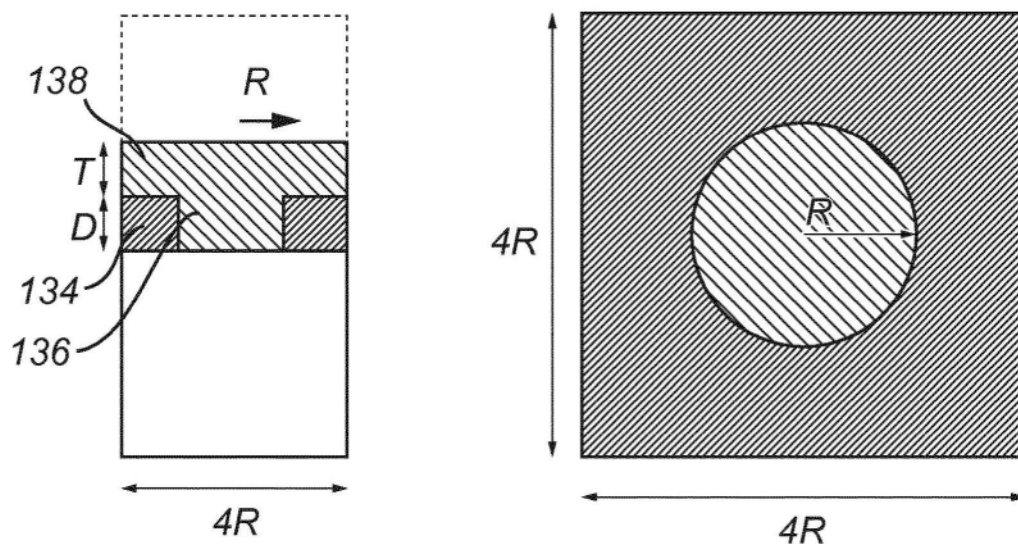


图13

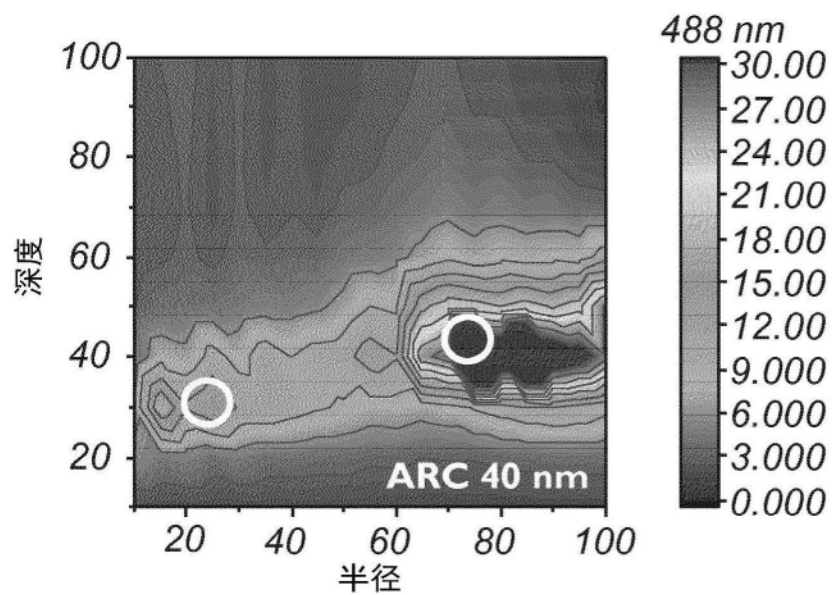


图14a

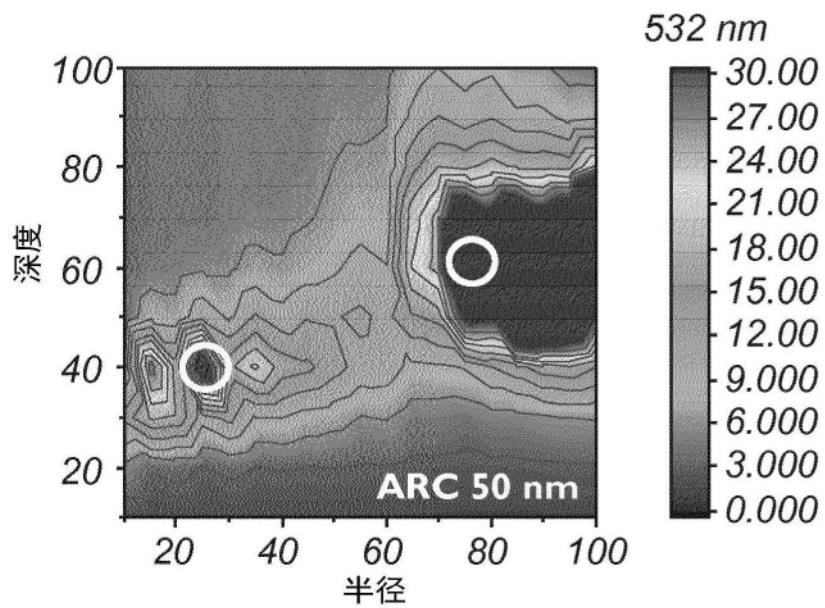


图14b

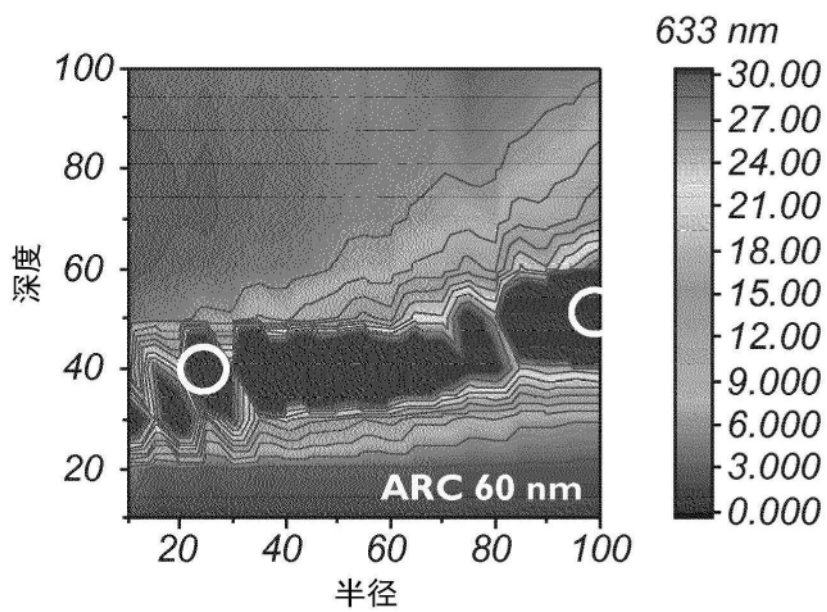


图14c

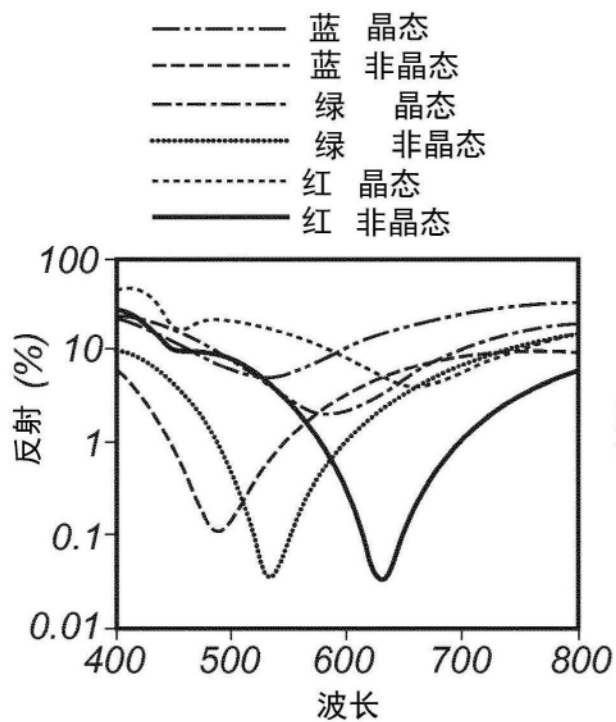


图 15a

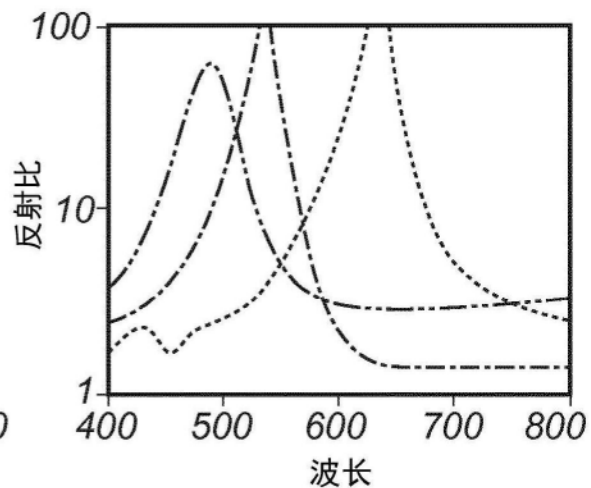


图 15b

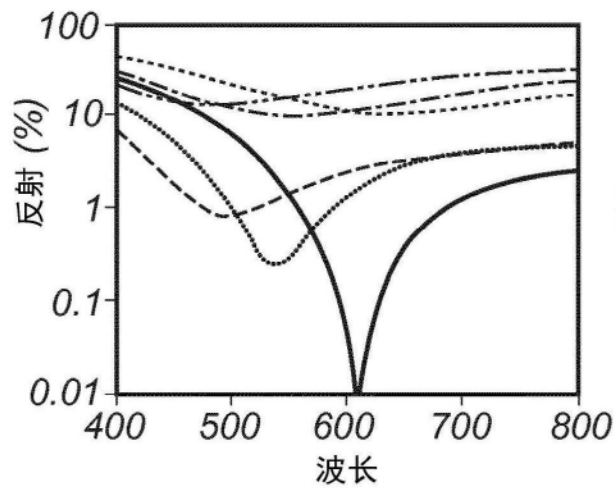


图 15c

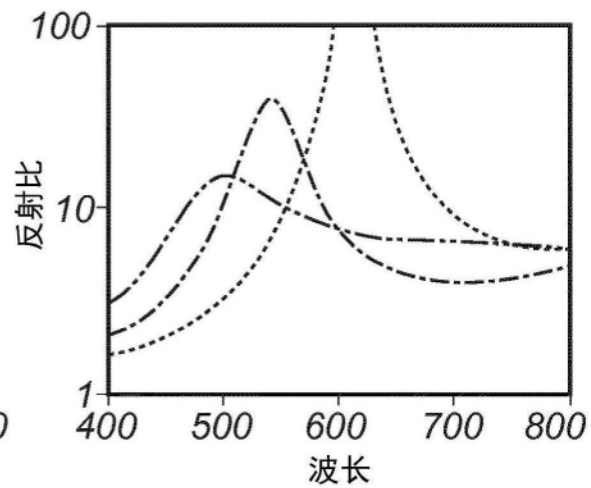


图 15d