(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 116547566 B
(45)授权公告日 2025.06.24

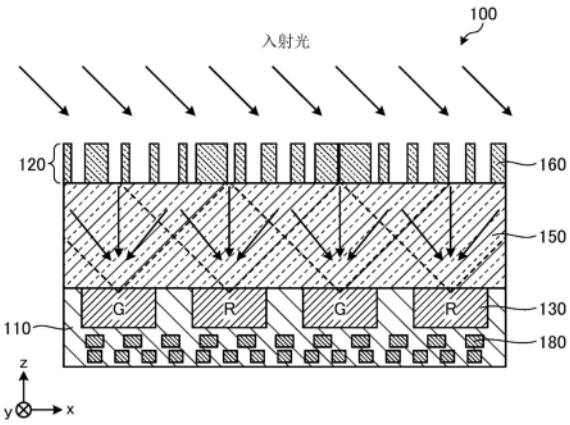
(21)申请号 202080107522.5
(22)申请日 2020.11.30
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116547566 A
(43)申请公布日 2023.08.04
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2023.05.26
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2020/044530 2020.11.30
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/113352 JA 2022.06.02
(73)专利权人 日本电信电话株式会社
地址 日本东京都
(72)发明人 宫田将司 根本成 小林史英
桥本俊和
(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
专利代理师 黄纶伟
(51)Int.Cl.
G02B 5/00(2006.01)
H04N 23/55(2023.01)
H04N 23/21(2023.01)
H10F 39/12(2025.01)
H10F 39/18(2025.01)
G02B 5/20(2006.01)
G02B 1/02(2006.01)
(56)对比文件
US 2020266230 A1,2020.08.20
审查员 周亚婷
权利要求书1页 说明书13页 附图26页

(54)发明名称

光学元件、摄像元件以及摄像装置

(57)摘要

摄像元件(100)具备:透明层(150),其用于覆盖各自包含光电转换元件的多个像素(130);以及多个构造体(160),其在透明层(150)上或透明层(150)内沿透明层(150)的面方向配置,多个构造体(160)配置为,对应着各构造体的入射光的入射角度,使入射的光中的第一颜色的光会聚于位于正下方的第一像素,使入射的光中的第二颜色的光会聚于位于正下方的第二像素。



CN 116547566 B

1.一种光学元件,其特征在于,

所述光学元件具有:

透明层,其用于覆盖多个像素,该多个像素各自包含光电转换元件;以及

多个构造体,它们在所述透明层上或所述透明层内沿所述透明层的面方向以遍及整个所述透明层的方式配置,

所述多个构造体配置为,对应着各构造体的入射光的入射角度,使入射的光中的第一颜色的光会聚于位于正下方的第一像素,使入射的光中的第二颜色的光会聚于位于正下方的第二像素,

所述多个构造体中的位于所述第一像素的正上方的多个构造体使所述第一颜色的光会聚于位于正下方的所述第一像素,所述多个构造体中的位于所述第二像素的正上方的多个构造体使所述第二颜色的光会聚于位于正下方的所述第二像素。

2.根据权利要求1所述的光学元件,其特征在于,

所述多个构造体各自的截面形状在该光学元件的中央部和外周部不同。

3.根据权利要求1或2所述的光学元件,其特征在于,

所述多个构造体各自为柱状构造体,所述柱状构造体具有比所述透明层的折射率高的折射率,并且对入射的光赋予与截面形状对应的光相位延迟量,

根据用于实现所述会聚的光相位延迟量分布来设定所述多个构造体的截面形状,所述多个构造体根据用于实现所述会聚的光相位延迟量分布来配置。

4.根据权利要求1或2所述的光学元件,其特征在于,

所述多个构造体各自的截面形状为4次旋转对称形状。

5.根据权利要求1或2所述的光学元件,其特征在于,

所述多个构造体配置为,使入射到与1个像素对置的区域的外侧的光中的与该1个像素对应的颜色的光也会聚到该1个像素。

6.一种摄像元件,其特征在于,具有:

权利要求1或2所述的光学元件;以及

被所述透明层覆盖的所述多个像素。

7.根据权利要求6所述的摄像元件,其特征在于,

所述摄像元件具有设置在所述多个像素与所述透明层之间的滤光层。

8.一种摄像装置,其特征在于,具有:

权利要求6所述的摄像元件;以及

信号处理部,其基于从所述摄像元件取得的电信号生成图像信号。

光学元件、摄像元件以及摄像装置

技术领域

[0001] 本发明涉及光学元件、摄像元件以及摄像装置。

背景技术

[0002] 一般的摄像装置使用透镜光学系统和CCD(Charge Coupled Device:电荷耦合器件)传感器或CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor:互补金属氧化物半导体)传感器等2维的摄像元件,取得由来自摄像对象的光的强度信息和颜色信息构成的2维图像。

[0003] 以往的颜色传感器的摄像元件一般构成为,利用微透镜对透过了摄像透镜的入射光进行会聚,并将每种颜色的滤色器配置在各像素上,从而使光电转换元件仅接收特定波长的光。

[0004] 在先技术文献

[0005] 非专利文献

[0006] 非专利文献1:Takanori Kudo,Yuki Nanjo,Yuko Nozaki,Kazuya Nagao,Hidemasa Yamaguchi,Wen-Bing Kang,Georg Pawlowski,“PIGMENTED PHOTORESISTS FOR COLOR FILTERS”,Journal of Photopolymer Science and Technology,1996,9卷,1号,p.109-119.

发明内容

[0007] 发明所要解决的课题

[0008] 然而,由于通过了摄像透镜的入射光的入射角度在传感器的中央部和周边部具有不同的角度,因此微透镜的聚光的形态也在中央部和周边部不同,从而存在如下问题:在传感器的周边部会产生光接收灵敏度的劣化。

[0009] 本发明是鉴于上述情况而完成的,其目的在于提供一种能够提高传感器周边部的光接收灵敏度的光学元件、摄像元件以及摄像装置。

[0010] 用于解决课题的手段

[0011] 为了解决上述课题并达成目的,本发明所涉及的光学元件的特征在于,具备:透明层,其用于覆盖各自包含光电转换元件的多个像素;以及多个构造体,其在透明层上或透明层内沿透明层的面方向配置,多个构造体配置为,对应着各构造体的入射光的入射角度,使入射的光中的第一颜色的光会聚于位于正下方的第一像素,使入射的光中的第二颜色的光会聚于位于正下方的第二像素。

[0012] 并且,本发明的摄像元件的特征在于,具有上述光学元件和被透明层覆盖的多个像素。

[0013] 另外,本发明的摄像装置的特征在于,具有:上述记载的摄像元件;以及信号处理部,其对摄像元件输出的电信号进行处理并生成图像。

[0014] 发明效果

[0015] 根据本发明,能够提高传感器周边部的光接收灵敏度。

附图说明

[0016] 图1是示出实施方式1的摄像装置的概略结构的侧视图。

[0017] 图2是示意性地示出实施方式1的摄像元件的像素阵列和偏振波长分离透镜阵列的截面的一部分的图。

[0018] 图3是示意性地示出实施方式1的摄像元件的中央部中的像素阵列和光学元件阵列的截面的一部分的图。

[0019] 图4是示意性地示出实施方式1的摄像元件的外周部中的像素阵列和光学元件阵列的截面的一部分的图。

[0020] 图5是表示构造体的概略构成的例子的图。

[0021] 图6是表示构造体的概略构成的例子的图。

[0022] 图7是表示构造体的概略构成的例子的图。

[0023] 图8是表示构造体的概略构成的例子的图。

[0024] 图9是表示构造体的概略构成的例子的图。

[0025] 图10是表示构造体的概略构成的例子的图。

[0026] 图11是示出各波长和光相位延迟量的组合的例子的图。

[0027] 图12是说明入射角度的定义的图。

[0028] 图13是示出在构造体是SiN的情况下的透镜设计的示例的图。

[0029] 图14是示出在构造体是SiN的情况下的透镜设计的示例的图。

[0030] 图15是示出在构造体是SiN的情况下的透镜设计的示例的图。

[0031] 图16是示出在构造体是SiN的情况下的透镜设计的示例的图。

[0032] 图17是示意性地示出像素阵列中的像素单元的像素配置的图。

[0033] 图18是说明入射角度的定义的图。

[0034] 图19是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0035] 图20是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0036] 图21是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0037] 图22是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0038] 图23是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0039] 图24是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0040] 图25是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0041] 图26是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0042] 图27是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0043] 图28是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0044] 图29是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0045] 图30是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0046] 图31是示意性地示出实施方式1的摄像元件中的像素阵列和光学元件阵列的截面的一部分的另一例的图。

[0047] 图32是示意性地示出实施方式1的摄像元件中的像素阵列和光学元件阵列的截面

的一部分的另一例的图。

[0048] 图33是示出构造体的截面形状的例子的图。

[0049] 图34是示意性地示出实施方式2的摄像元件的中央部的像素阵列和光学元件阵列的截面的一部分的图。

[0050] 图35是示意性地示出实施方式2的摄像元件的中央部中的像素阵列和光学元件阵列的截面的一部分的图。

[0051] 图36是示意性地示出像素阵列中的像素单元的像素配置的图。

[0052] 图37是说明入射角度的定义的图。

[0053] 图38是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0054] 图39是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0055] 图40是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0056] 图41是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0057] 图42是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0058] 图43是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0059] 图44是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0060] 图45是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0061] 图46是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0062] 图47是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0063] 图48是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0064] 图49是示出像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。

[0065] 图50是示意性地示出像素阵列中的像素单元的另一像素配置的图。

具体实施方式

[0066] 以下,参照附图详细说明用于实施本发明的最佳方式。此外,在以下的说明中,各图只是以能够理解本发明的内容的程度概略地示出了形状、大小以及位置关系,因此,本发明并不仅限定于在各图中例示的形状、大小以及位置关系。另外,在附图的记载中,对相同部分标注相同的附图标记来示出。

[0067] [实施方式1]

[0068] [摄像装置]

[0069] 首先,对本发明的实施方式1的摄像装置进行说明。图1是示出实施方式1的摄像装置的概略结构的侧视图。

[0070] 如图1所示,实施方式1的摄像装置10具有透镜光学系统11、摄像元件12以及信号处理部13。摄像元件12具有CCD或CMOS等光电转换元件。信号处理部13对从摄像元件12输出的光电转换信号进行处理而生成图像信号。

[0071] 向物体1照射自然光、照明光等光,通过物体1或者通过物体1而反射/散射的光、或者从物体1发出的光通过透镜光学系统11在摄像元件12上形成光学像。一般而言,为了校正各种光学像差,透镜光学系统11由透镜组构成,该透镜组由沿着光轴排列的多个透镜构成,但在图1中简化附图而示出单个透镜。信号处理部13包含将生成的图像信号向外部送出的图像信号输出。

[0072] 另外,摄像装置10可以具备过滤红外光的光学滤波器、电子光闸、取景器、电源(电池)、闪光灯等公知的结构要素,但它们的说明对于本发明的理解来说不是特别必要的,因此省略。另外,以上的结构只不过是一例,在实施方式中,够适当地组合使用除了透镜光学系统11、摄像元件12、信号处理部13以外的结构要素作为公知的要素。

[0073] [摄像元件]

[0074] 接着,说明实施方式1的摄像元件12的概要。图2是示意性地示出实施方式1的透镜光学系统11和摄像元件12的主要部分的截面的图。在图2以后,将摄像元件12的一部分作为摄像元件100进行说明。摄像元件100具有光学元件阵列,该光学元件阵列在整个表面上形成有将入射光向像素阵列的光电转换元件引导的多个柱状构造体。另外,在摄像元件100中,如图2所示,从透镜光学系统11入射到摄像元件100的光的入射角度θ在中央部和外周部不同,因此,将形成于光学元件阵列的多个柱状的构造体设定为赋予如下相位特性的形状:该相位特性用于对应着入射光的入射角度,以分离出规定的颜色的状态,向正下方的像素引导入射光。即,形成于光学元件阵列的多个柱状的构造体各自的截面形状在光学元件阵列的中央部和外周部被设定为不同的形状。以下,使用图3以及图4对摄像元件100的构造进行说明。

[0075] 图3是示意性地示出实施方式的摄像元件的中央部的像素阵列和光学元件阵列的截面的一部分的图。图4是示意性地示出实施方式的摄像元件的外周部的像素阵列和光学元件阵列的截面的一部分的图。另外,在图3和图4中,箭头示意性地表示入射到摄像元件100的光。在图中示出xyz坐标系。xy平面方向相当于后述的像素阵列110、透明层150等的面方向。以下,除了特别说明的情况以外,“俯视”是指在z轴方向(例如Z轴负方向)上观察。“侧视”是指在x轴方向或y轴方向(例如y轴负方向)上观察。

[0076] 如图3和图4所示,摄像元件100具有像素阵列110和与像素阵列110对置配置的光学元件阵列120。像素阵列110和光学元件阵列120沿z轴正方向依次设置。光学元件阵列120配置在来自透镜光学系统11的光入射的一侧。光学元件阵列120形成在形成于像素阵列110上的透明层150的上表面。另外,透明层150是由SiO_2(折射率n=1.45)等材料构成的低折射率的透明层。

[0077] 像素阵列110包括布线层180和在xy平面方向上配置的多个像素130。各像素130分别构成为包含光电转换元件。光电转换元件的例子是光电二极管(PD:Photo Diode)。各像素对应于红色(R)、绿色(G)以及蓝色(B)。在红色的光的波段的例子中,若将波长设为λ_0,则600nm<λ_0。绿色的光的波段的例子为500nm<λ_0≤600nm。蓝色的光的波段的例子为λ_0≤500nm。以下,为了能够区分各像素,称之为像素R、像素G以及像素B(未图示)进行图示。这些像素R、2个像素G以及像素B如后所述那样被拜耳排列,构成一个像素单元。

[0078] 光学元件阵列120以覆盖像素阵列110的方式设置。光学元件阵列120的例子是超颖表面。超颖表面构成为包含多个微细构造体(相当于构造体160),该构造体具有光的波长以下的宽度。超颖表面可以具有2维结构,也可以具有3维结构。光学元件阵列120仅通过改变构造体160的参数,就能够对应着光的特性(波长、偏振波、入射角度)来控制相位和光强度。在3维构造的情况下,与2维构造相比,设计自由度提高。

[0079] 光学元件阵列120具有波长分离功能和透镜功能这2个功能。波长分离功能是将入射的光分离为各波段的光的功能。透镜功能是将各波长的光会聚到对应的像素的功能。在

该例子中,通过光学元件阵列120的波长分离功能,入射的光被分离为R光、G光以及B光。通过透镜功能,R光被会聚到位于正下方的像素R,G光被会聚到位于正下方的像素G,B光被会聚到位于正下方的像素B。

[0080] 光学元件阵列120包括透明层150和多个柱状构造体160。透明层150以覆盖像素阵列110的方式设置在像素阵列110上。透明层150具有比构造体160的折射率低的折射率。透明层150的材料的例子是SiO_2等。透明层150可以是空隙,在该情况下,透明层150的折射率可以与空气的折射率相等。透明层150的材料可以是单一的,也可以是由多个材料形成为层状。

[0081] 多个构造体160在透明层150上或透明层150内沿透明层150的面方向(xy平面方向)例如周期性地(具有周期结构)配置。在该例子中,构造体160在隔着透明层150与像素阵列110相反的一侧(z轴正方向侧)设置在透明层150上。为了使设计容易等,多个构造体160可以等间隔配置,也可以不等间隔配置。各构造体160是具有与入射光的波长相同程度或比其小的尺寸的纳米级尺寸的微细构造体。多个构造体160在侧视时具有相同的高度。

[0082] 构造体160将入射光以分离出颜色的状态引导至对应的正下方的像素130的光电转换元件。例如,在实施方式1中,示出构造体160分离出的波段为R、G、B的情况。多个构造体160配置为,对应着各构造体的入射光的入射角度,将入射的光中的R色的光会聚到位于正下方的像素R,将G光会聚到位于正下方的像素G,将B光会聚到位于正下方的像素B。

[0083] 构造体160使用具有比周围材料(透明层150、空气)的折射率高的折射率的材料形成。由此,构造体160将光强有力地封闭在柱状构造体内部而防止与相邻的柱状构造体之间的光耦合。构造体160例如使用SiN(折射率n=2.05)、TiO_2(折射率n=2.40)形成。

[0084] 构造体160在俯视时分别形成为具有如下相位特性的形状,该相位特性用于对应着各柱状构造体的入射光的入射角度,在将入射光分离出颜色R、G、B的状态下将入射光引导至对应的正下方的像素R、G、B的光电转换元件。构造体160分别对入射光赋予与在俯视时该构造体160所具有的形状对应的光相位延迟量。构造体160各自的截面形状在光学元件阵列的中央部和外周部不同。

[0085] [构造体]

[0086] 为了实现根据入射光的波段而具有不同的聚光位置的构造体160,需要实现对每个波段赋予不同的光波面的构造。在本实施方式1中,通过利用微细的柱状的构造体160对入射光赋予的相位延迟量的波长分散特性,实现波长分离功能和会聚功能这双方。

[0087] 构造体160由构造周围的透明层150或具有比空气的折射率n_0高的折射率n_1的SiN、TiO_2等材料形成,使侧视时的构造体160的高度(z轴方向的长度)h恒定。该构造体160可以认为是根据与透明层之间的折射率差将光封闭在构造内进行传播的光波导。

[0088] 因此,当光从透镜光学系统11侧入射时,光在被强有力地封闭在构造内的同时传播,在由光波导的有效的折射率n_{eff}决定的相位延迟效果下,从像素阵列110侧输出。

[0089] 具体而言,在以在透明层中传播了构造的厚度的量的行程的光的相位为基准时,若将光在真空中的波长设为λ,则构造体160的相位延迟量φ由式(1)表示。

[0090] [数学式1]

[0091] $$\varphi = \left(n_{eff} - n_0\right) \times 2\pi h/\lambda \qquad \cdots(1)$$

[0092] 该相位延迟量φ根据光的波长λ而不同,因此在同一构造体中,能够根据波段对光

赋予不同的相位延迟量。

[0093] 此外,已知光波导的有效折射率n_{eff}很大程度上取决于构造体160的截面形状,取$n_0<n_{eff}<n_1$的值。另外,光波导的有效折射率n_{eff}根据光的波长λ而不同,其程度很大程度取决于构造体160的截面形状。

[0094] 因此,如图5-图10所示,例如,通过使用具有正方形形状、十字形状、圆形形状等多种截面形状的构造体160,能够设定与光的波长λ对应的相位延迟量的多种组合,能够新设计出以及实现根据波段而具有不同的聚光位置的透镜。

[0095] [构造体的形状]

[0096] 图5-图10是表示构造体160的概略结构的例子的图。图5是俯视时的形状为正方形形状的构造体160的侧视图。图6是图5所示的构造体160的俯视图。图7是俯视时的形状为X字形状的构造体160的侧视图。图8是图7所示的构造体160的俯视图。图9是俯视时的形状为中空菱形形状的构造体160的侧视图。图10是图9所示的构造体160的俯视图。

[0097] 构造体160是在z轴方向上延伸的柱状构造体,形成在透明层150(例如SiO_2基板(折射率1.45))上。构造体160的材料的例子是SiN(折射率2.05)。构造体160的侧方以及上方是空气(Air(折射率1.0))。

[0098] 将各个构造体160的配置周期设为P。配置周期P以在透过侧不产生衍射光的方式,优选如式(2)那样设定,。

[0099] [数学式2]

[0100] $P\leqslant\lambda_{min}/n_2$ …(2)

[0101] λ_{min}是要接收的光的波段中的最短波长,例如为410nm。n_2是透明层150的折射率,在透明层150为SiO_2的情况下,$n_2=1.45$。构造体160的配置周期P例如为280nm。

[0102] 在图5-图10中,将侧视时的构造体160的高度(z轴方向的长度)称为高度h进行图示。构造体160的高度h是恒定的。高度h优选如式(3)那样设定,使得构造体160能够对入射的光、即沿着z轴方向行进的光赋予2π以上的光相位延迟量(相位值)。

[0103] [数学式3]

[0104] $h\geqslant\lambda_r/(n_1-n_0)$ …(3)

[0105] 波长λ_r是作为波长分离的对象的光的波段中的最长波长侧的波段中的期望的中心波长。n_1是构造体160的折射率。在构造体160为SiN的情况下,n_1=折射率2.05,高度h例如为1600nm。此外,构造体160可以由TiO_2(折射率2.40)形成。在这种情况下,$n_1=2.40$,并且构造体160的高度h例如为1250nm。

[0106] 通过设计构造体160的截面形状(包括尺寸设计),能够实现能够对各波长的光赋予不同的光相位延迟量的各种组合。通过使截面形状多样化而使组合增加,设计自由度进一步提高。

[0107] 例如,构造体160在俯视时具有正方形形状、十字形状、圆形形状。正方形形状、十字形状、圆形形状的构造体160各自为基本形状相同且具有不同的尺寸(长度、宽度等)。构造体160的俯视时的形状可以是4次旋转对称形状。这样的形状例如可以构成为包括正方形形状、十字形状、圆形形状中的至少一个。通过使各构造体160在俯视时为4次旋转对称形状,从而成为对偏振光无依赖的特性。

[0108] 如上所述,作为构造体160的俯视时的形状,也能够应用正方形形状、使十字形状

在面内旋转45°而成的X字形状、中空菱形形状。另外,中空菱形形状是包含正方形形状的例子,是使中空正方形形状在面内旋转45°后的形状。

[0109] 此外,若采用X字形状、菱形形状那样的在面内旋转45°的形状,与相邻的构造体之间的光学耦合变弱,因此各个构造体的光学特性容易维持而不受相邻的构造体的影响。其结果,容易再现后述的理想的相位延迟量分布。

[0110] 图11是示出各波长与光相位延迟量的组合的例子的图。作为蓝色的光的例子,示出对于波长为430nm的光的光相位延迟量(相位@λ=430nm(rad/π))。作为绿色的光的例子,示出对于波长为520nm的光的光相位延迟量(相位@λ=520nm(rad/π))。作为红色光的例子,示出对于波长为635nm的光的光相位延迟量(相位@λ=635nm(rad/π))。

[0111] 方形描点示出了具有正方形截面形状的构造体160的截面形状的尺寸被设定为各种尺寸时的光相位延迟量。X字描点示出在具有X字形截面形状的构造体160中,将截面形状的尺寸设定为各种尺寸时的光相位延迟量。菱形描点示出在具有中空菱形截面形状的构造体160中,将截面形状的尺寸设定为各种尺寸时的光相位延迟量。高度h均是恒定的。黑色描点是后述的透镜设计中的理想的光相位延迟量。

[0112] 图11示出了在构造体160是SiN的情况下的光相位延迟量。如所理解的那样,通过设计构造体160的截面形状,可以实现各种颜色的光(各波长的光)与光相位延迟量的组合。即,即使仅使用具有相同高度h的柱状构造体,也能够实现具有多种色散的光相位延迟量特性(相位特性)。这是因为,根据截面形状,能够使产生的光波导模式/光谐振模式和由此引起的光相位延迟量的色散特性变化。

[0113] 基于以上的原理,通过在透明层150的面方向上配置的构造体160的截面形状以及配置的设计,能够实现如下透镜功能,该透镜功能使得具有按每个波长而不同的聚光点。另外,不限于波长为3个的情况,即使是波长为2个或波长为4个以上的情况也能够实现透镜设计。

[0114] 此外,在本实施例中,以对应着入射到构造体160的光的入射光而使入射光会聚到位于透镜下方的光电转换元件的中心的方式设计透镜的相位分布,参照图11所示的相位特性来设计透镜。因此,多个构造体160(图3、图4)被配置为,通过将截面形状设定为在光学元件阵列12的中央部和外周部不同,从而在入射光的入射角度不同的中央部和外周部任一个中,入射到与像素B对置的区域的外侧的光中的与像素B对应的颜色的光也会聚到像素B。并且配置成,入射到与像素G对置的区域的外侧的光中的与像素G对应的颜色的光也会聚到像素G。并且配置成,入射到与像素R对置的区域的外侧的光中的与像素R对应的颜色的光也会聚到像素R。由此,能够使各像素中的接收光量增加。

[0115] [透镜设计的例子]

[0116] 在此,对透镜设计的例子进行说明。图12是说明入射角度的定义的图。如图12所示,说明光以(θ, φ)的入射角度入射的情况。对应着入射角(θ, φ),以向透镜(构造体160)下方的光电转换元件的中心聚光的方式设计透镜的相位分布,参照图11所示的相位特性,按照作为设计目标的理想的光相位延迟量,设计SiN组分构造的构造体160的截面形状及配置。例如,像素的大小为1.68μm×1.68μm。焦距为4.2μm。与蓝色的光对应的中心波长为430nm。与绿色的光对应的中心波长为520nm。与红色的光对应的中心波长为635m。

[0117] 对于某入射角度(θ, φ)的光,在向透镜的正下方离开了z_f的点(任意的像素的中

心点)处聚光的透镜的光相位延迟量分布φ由以下的式(4)表示。

[0118] [数学式4]

[0119]
$$\varphi(x,y)=-\frac{2\pi}{\lambda_d}\left[n_{in}\{(x-x_f)cos\phi+(y-y_f)sin\phi\}sin\theta+n_{out}\left\{\sqrt{(x-x_f)^2+(y-y_f)^2+z_f^2}-\sqrt{x_f^2+y_f^2+z_f^2}\right\}\right]+C \quad \cdots(4)$$

[0120] 在上述的式(4)中,λ_d是中心波长(设计波长)。x_f、y_f以及z_f是聚光位置。n_{in}是入射侧的材料的折射率。n_{out}是出射侧的材料的折射率。C是任意常数。在图3和图4的结构的情况下,$n_{in}=1.0$(空气),$n_{out}=1.445$(石英玻璃)。

[0121] 理想的光相位延迟量分布为对像素B、像素G_1、G_2及像素R分别赋予以下的聚光位置的相位分布。另外,4个像素(像素单元)的中心位置与x=0、y=0对应。

[0122] 像素B:$x_f=+0.84\mu m$,$y_f=-0.84\mu m$,$z_f=4.2\mu m$

[0123] 像素G_1:$x_f=+0.84\mu m$,$y_f=+0.84\mu m$,$z_f=4.2\mu m$

[0124] 像素G_2:$x_f=-0.84\mu m$,$y_f=-0.84\mu m$,$z_f=4.2$

[0125] 像素R:$x_f=-0.84\mu m$,$y_f=+0.84\mu m$,$z_f=4.2\mu m$

[0126] φ以收敛于0~2π的范围的方式被变换。例如,将-0.5π和2.5π分别转换为1.5π和0.5π。以在各设计波长下透镜的光相位延迟量分布的中心(对准相邻透镜)成为聚光位置的方式设定光相位延迟量分布的边界区域。常数C可以以各波长下光相位延迟量分布的误差(与理想值之差)成为最小的方式最优化。根据各波长下的光相位延迟量,将最适合于上述3个波长的各中心波长下的光相位延迟量分布的结构(误差最小的结构)配置在对应的位置。

[0127] 图13至图16是示出在构造体160是SiN的情况下的透镜设计的示例的图。图13-图16示出光以θ=5°、φ=0°的入射角度入射的情况下的透镜的设计的例子。如图16所示,按照使分别与像素R、G_1、G_2和B对应的波长的光会聚的形状和配置来形成多个构造体160。另外,图16的中心位置对应于x=0、y=0。

[0128] 在图13中示出中心波长为430nm(蓝色的光)的情况下的理想的光相位延迟量分布(相位(rad/π))。图14示出中心波长为520nm(绿色的光)的情况下的理想光相位延迟量分布。图15示出了中心波长为635nm(红色的光)的情况下的理想的光相位延迟量分布。

[0129] 图16是能够分别实现图13~图15的光相位延迟量分布的构造体160的俯视图,是针对每1个像素单元(参照后述的图17)设计的构造体160的形状图案。

[0130] 如图16所示,构造体160的形状为正方形形状、×字形状、中空菱形的棱柱。该构造体160的平面形状被设定为如下形状,该形状在光以θ=5°、φ=0°的入射角度入射的情况下,能够实现图13~图15所示的光相位延迟量分布中的各个对应的位置的相位。因此,构造体160的平面形状也可以不是正方形形状、×字形状、中空菱形的多种形状,而是设定为1种(例如正方形形状)形状。另外,构造体160的形状不限定于作为分离对象的波段,能够设定正方形形状、×字形状、中空菱形中的任意种类的形状。另外,也可以按照每个作为分离对象的波段来设定构造体160的平面形状的种类。

[0131] 图17是示意性地表示像素阵列110中的像素单元的像素配置的图。是表示配置的一例的图。图18是说明入射角度的定义的图。图19~图30是表示像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。图17~图30示出了在构造体160是SiN的情况下的入射角度依赖

性的示例。在这种情况下,构造体160的形状的图案根据主入射角度,即,根据传感器(图像传感器100)中的像素位置而改变。

[0132] 以上也进行了说明,如图17所示,在像素阵列110中配置有多个包含像素R、像素G_1、像素G_2以及像素B的像素单元。此时,如图18所示,在将z轴方向为0°的xz平面上的角度(Angle)设为入射角度的情况下,像素R、像素G_1、像素G_2以及像素B的接收光光谱的入射角度依赖性如图19~图26所示。

[0133] 图19~图22示出对于光以θ=0°、φ=0°的入射角度入射的情况对透镜进行最优设计的情况。图23~图26表示对于光以θ=5°、φ=0°的入射角度入射的情况对透镜进行最优设计的情况。在图19及图23中,像素R的光接收效率按每个波长(Wavelength(μm))和每个入射角度(Incidentangle(degree))示出、即按每个入射角度以光接收强度示出。在图20和图24中,像素G_1的光接收效率按照每个入射角度以光接收强度表示。在图21和图25中,像素G_2的光接收效率按照每个入射角度以光接收强度表示。在图22及图26中,像素B的光接收效率按每个入射角度以光接收强度表示。无论是θ=0°还是θ=5°的入射角度,在像素R、像素G_1、像素G_2及像素B的中心波长下,在入射角度为±12°左右的范围内,都能够以足够的强度接收光。

[0134] 另外,图27~图30是表示各像素接收到的中心波长的光的检测强度的入射角度依赖性的图,分别图示出θ=0°、θ=5°的情况。图27是基于像素R的波长630nm的光的检测强度,图28是基于像素G_1的波长520nm的光的检测强度,图29是基于像素G_2的波长520nm的光的检测强度,图30是基于像素B的波长430nm的光的检测强度。

[0135] 如图27~图30所示,在按照入射角度θ=5°对透镜进行了最优设计的情况下,与按照入射角度θ=0°对透镜进行最优设计的情况相比,在全部像素中入射角度公差的范围偏移了+5°。

[0136] [实施方式1的效果]

[0137] 这样,在实施方式1中,在摄像元件100中,光学元件阵列120实现了颜色分离功能和透镜功能这双方的功能,因此与使用滤色器进行颜色分离的以往的摄像元件相比,还能够增加总接收光量。

[0138] 而且,在摄像元件100中,在使光学元件阵列120的透镜(构造体160)具有颜色分离功能的同时,对其赋予与主入射角度对应的角度公差。根据本实施方式1,通过根据摄像元件100内的像素位置使构造体160的图案变化,能够实现与在摄像元件100的中心部和周边部不同的主入射角度分别对应的颜色分离微透镜。因此,根据本实施方式1,能够按每个像素实现与由摄像元件100内的位置决定的各种入射角度对应的聚光功能,特别是能够提高摄像元件100周边部的光接收灵敏度。因此,根据本实施方式1,能够生成在摄像元件100整体中具有均匀的亮度且颜色错误少的图像信号。

[0139] 另外,在现有技术中,为了通过开口率的提高、光入射角度依赖性的降低等来增加接收光量(提高灵敏度),也存在在隔着滤波器与像素相反的一侧设置(集成化)微透镜的技术。在该情况下,由于至少成为滤波器以及微透镜的2层构造,因此构造复杂化,制造成本也增加。根据实施方式的光学元件阵列120,仅通过光学元件阵列120就能够实现波长分离功能以及透镜功能,因此能够简化构造,降低制造成本。另外,由于能够在面内(xy平面内)无间隙地配置多个构造体160,因此与微透镜相比开口率增加。

[0140] 另外,入射角度的公差主要依赖于颜色分离透镜的焦距,因此如果设计具有更短的焦距的透镜(构造体160),则容许角度也扩大。

[0141] 另外,图1所示的信号处理部13根据从摄像元件12得到的电信号生成像素信号。为了得到电信号,信号处理部13还进行摄像元件12的控制。摄像元件12的控制包括摄像元件12的像素的曝光、蓄积于像素阵列110的电荷向电信号的转换、电信号的读出等。

[0142] 另外,光学元件阵列120不限于上述的结构,对于构造体160的数量、间隔、构造形状、排列图案能够采用各种方式。此外,构造体160可以彼此连接,或者可以嵌入在透明材料中。

[0143] 另外,在图3和图4中,光学元件阵列120形成于透明层150的上表面,但不限于此。图31和图32是示意性地示出实施方式1的摄像元件中的像素阵列和光学元件阵列的截面的一部分的另一例的图。

[0144] 如图31的摄像元件100A所示,光学元件阵列120也可以嵌入到像素130上的透明层150A的内部。此时,透明层150A的材料可以是单一的,也可以是多个材料形成为层状。另外,如图32的摄像元件100B所示,光学元件阵列120也可以形成在独立的透明基板190的底面。在该情况下,光学元件阵列120与像素130之间的区域充满空气150B。此时,透明基板190的材料可以是单一的,也可以是多个材料形成为层状。摄像元件100、100A和100B还可以与片上微透镜、内部微透镜、用于减少串扰的像素间屏障等一起使用。

[0145] 另外,在上述中,对4个像素位于1个光学元件单元的正下方的例子进行了说明,但并不限定于此。

[0146] 另外,构造体160的截面形状不限于之前说明的图16等所示的形状。图33是示出构造体的截面形状的例子的图。构造体160可以具有图33所例示的各种截面形状。例示的形状例如是通过将正方形形状、十字形状以及圆形形状进行各种组合而得到的4次旋转对称形状。

[0147] [实施方式2]

[0148] 在实施方式2中,对摄像元件具有滤波器的结构进行说明。图34是示意性地示出实施方式2的摄像元件的中央部的像素阵列和光学元件阵列的截面的一部分的图。图35是示意性地示出实施方式2的摄像元件的外周部的像素阵列和光学元件阵列的截面的一部分的图。

[0149] 图34和图35所示的摄像元件200具有设置在像素阵列110与光学元件阵列120之间的滤光层170。

[0150] 滤光层170包括:滤波器170R,其以覆盖像素R的方式设置,使红色的光透过;滤波器170G,其以覆盖像素G的方式设置,使绿色的光透过;以及滤波器170B,其以覆盖像素B的方式设置,使蓝色的光透过。滤光层170的材料的例子是树脂等有机材料。

[0151] 由光学元件阵列120进行了颜色分离的光进一步通过滤光层170后,到达像素阵列110。通过光学元件阵列120以及滤光层170这双方的波长分离,与仅通过一方进行波长分离的情况相比,光谱的串扰被抑制(不需要的其他波长成分的大部分被除去),颜色再现性提高。另外,由于入射的光是在通过光学元件阵列120被进行分离后通过滤光层170的,因此不会大幅减少光量。因此,与没有光学元件阵列120而仅设置滤光层170的情况相比,像素的光接收效率提高。

[0152] 图36是示意性地表示像素阵列110中的像素单元的像素配置的图。图37是说明入射角度的定义的图。图38～图45是表示像素中的光接收强度的入射角度依赖性的例子的图。图38～图45示出了在构造体160是SiN的情况下的入射角度依赖性的示例。

[0153] 图38～图41示出了针对光以θ＝0°、φ＝0°的入射角度入射的情况对透镜进行最优设计的情况。图42～图45示出针对光以θ＝5°、φ＝0°的入射角度入射的情况对透镜进行最优设计的情况。在图38和图42中,像素R的光接收效率按每个波长和每个入射角度示出、即按每个入射角度以光接收强度示出。在图39和图43中,像素G_1的光接收效率按照每个入射角度以光接收强度示出。在图40和图44中,像素G_2的光接收效率按照每个入射角度以光接收强度示出。在图41和图45中,像素B的光接收效率按照每个入射角度以光接收强度示出。

[0154] 图46～图49是表示各像素接收到的中心波长的光的检测强度的入射角度依赖性的图,分别图示出θ＝0°、θ＝5°的情况。图46是基于像素R的波长630nm的光的检测强度,图47是基于像素G_1的波长520nm的光的检测强度,图48是基于像素G_2的波长520nm的光的检测强度,图49是基于像素B的波长430nm的光的检测强度。

[0155] 如图38-图45所示,可知对于θ＝0°及θ＝5°的入射角度的任一个,不需要的其他波长成分的大部分都被除去,颜色再现性提高。另外,关于滤光层170的透射特性,例如,请参照参考文献1的图20。

[0156] 参考文献1:Kudo,T.;Nanjo,Y.;et al.,“Pigmented Photoresists for Color Filters”.J.Photopolym.Sci.Technol.1996,9,109-120.

[0157] 另外,如图46～图49所示,在按照入射角度θ＝5°对透镜进行了最优设计的情况下,与按照入射角度θ＝0°对透镜进行了最优设计的情况相比,在所有像素中入射角度公差的范围偏移了+5°。

[0158] [实施方式2的效果]

[0159] 这样,根据还具备滤光层170的摄像元件200,能够提高光接收效率,并且还能够进一步提高颜色再现性。

[0160] 另外,在实施方式1、2中,在说明像素阵列110的像素配置时,以将像素B、像素G_1、G_2以及像素R设为1组的像素单元为例进行了说明,但不限于此。图50是示意性地表示像素阵列中的像素单元的其他像素配置的图。如图50所示,像素阵列也可以是代替图17所示的像素G_2而具有接收近红外(NIR:Near-Infrared)光的像素NIR(近红外)的像素配置。此时,将中心波长λ_d设为例如850nm,使用式(4)来设计与像素NIR对应的透镜(构造体160)即可。

[0161] 另外,在实施方式1、2中,作为构造体160的材料,以SiN或TiO_2为例进行了说明。但是,构造体160的材料并不限定于此。例如,对于波长为380nm～1000nm的光(可见光～近红外光)的光,除了SiN以外,还可以使用SiC、TiO_2、GaN等作为构造体6的材料。由于折射率高、吸收损耗少,因此适合。当使用波长为800-1000nm的光(近红外光)时,可以使用Si、SiC、SiN、TiO_2、GaAs、GaN等作为构造体6的材料。由于是低损耗,因此是适合的。对于长波长带的近红外区域(作为通信波长的1.3μm、1.55μm等)的光,除了上述材料之外,还可以使用InP等作为构造体160的材料。

[0162] 另外,在构造体160通过粘贴、涂布等方式形成的情况下,作为材料,可列举出氟化聚酰亚胺等聚酰亚胺、BCB(苯并环丁烯)、光固化性树脂、UV环氧树脂、PMMA等丙烯酸树脂、全部的抗蚀剂等聚合物等。

[0163] 另外,在实施方式1、2中,示出了作为透明层150的材料而假定了SiO_2以及空气层的例子,但并不限定于此。还包括一般的玻璃材料等,只要是具有比构造体160的材料的折射率低的折射率、相对于入射光的波长为低损耗的材料即可。透明层150只要相对于应到达对应的像素的光的波长为足够低的损耗即可,因此可以是与滤色器相同的材质,例如也可以是树脂等有机材料。在这种情况下,透明层150可以被设计成不仅具有与滤色器相同的材料,而且具有与滤色器相同的结构,具有与应被引导到对应像素的光的波长对应的吸收特性。

[0164] 另外,在实施方式1、2中,作为像素所对应的颜色,以RGB的3原色以及近红外光为例进行了说明,但像素也可以与近红外光以及3原色以外的波长的光(例如,红外光、紫外光等)对应。

[0165] 另外,在实施方式1、2中,作为构造体160的形状,对使用具有正方形形状、×字形状、中空菱形这3种不同的截面形状的构造体的例子进行了说明。该形状为一例,可以使用2种构造体(例如仅正方形形状、×字形状),也可以使用4种以上的构造体。

[0166] 以上,基于具体的实施方式对本发明进行了说明,但本发明并不限定于上述实施方式,当然能够在不脱离其主旨的范围内进行各种变更。

[0167] 以上说明的技术例如以如下方式确定。如参照图1～图5、图31以及图32等说明的那样,光学元件阵列120具备:透明层150,其用于覆盖分别包含光电转换元件的多个像素;以及多个构造体160,其在透明层150上或者透明层150内沿透明层150的面方向(xy平面方向)配置,多个构造体160配置为,对应着各构造体的入射光的入射角度,将入射的光中的第一颜色(例如蓝色)的光会聚于位于正下方的第一像素(例如像素B),将第二颜色(例如红色)的光会聚于位于正下方的第二像素(例如像素R)。

[0168] 上述的光学元件阵列120具有颜色分离功能,并且具有与主入射角度对应的角度公差。光学元件阵列120能够针对每个像素实现与由摄像元件100内的位置决定的各种入射角度对应的聚光功能,特别是能够提高传感器周边部的光接收灵敏度。光学元件阵列120能够在面内无间隙地配置多个构造体160,因此与微透镜相比开口率也增加。颜色分离功能和透镜功能可以对应于3种颜色,并且也可以对应于近红外光的分离。

[0169] 如参照图5～图10等说明的那样,多个构造体160分别是如下柱状构造体,该柱状构造体具有比透明层5的折射率高的折射率、对入射的光赋予与截面形状对应的光相位延迟量。而且,多个构造体各自的截面形状在该光学元件的中央部和外周部不同。如参照图11-图16等说明的那样,多个构造体160可以按照用于实现上述的聚光的光相位延迟量分布来配置。例如通过这样的多个构造体160的配置,能够实现波长分离功能以及透镜功能这双方的功能。

[0170] 如参照图16和图33等说明的那样,多个构造体160各自的截面形状可以是4次旋转对称形状。由此,能够不产生偏振依赖性。

[0171] 如参照图6～图8等说明的那样,多个构造体160也可以配置为,使入射到与1个像素对置的区域的外侧的光中的与该1个像素对应的颜色的光也会聚于该1个像素。由此,与仅使入射到与1个像素对置的区域的光会聚到该像素的情况相比,能够增加接收光量。

[0172] 参照图1～图5等说明的摄像元件100也是本公开的一个方式。摄像元件100具备光学元件阵列120和被透明层150覆盖的多个像素130(像素NIR等)。由此,如之前说明的那样,

能够降低制造成本。也能够提高光接收灵敏度或增加开口率。

[0173] 如参照图34及图35等所说明的那样,摄像元件200可以具备设置在多个像素(像素NIR等)与透明层150之间的滤光层170。由此,能够提高光接收效率,并且能够进一步提高颜色再现性。

[0174] 参照图1等说明的摄像装置10也是本公开的一个方式。摄像装置10具备上述的摄像元件12和基于从摄像元件12得到的电信号并基于像素信号生成图像信号的信号处理部13。由此,如之前说明的那样,能够降低制造成本。也能够提高光接收灵敏度或增加开口率。

[0175] 标号说明

[0176] 1物体

[0177] 10摄像装置

[0178] 11透镜光学系统

[0179] 12、100、100A、100B、200摄像元件

[0180] 13信号处理部

[0181] 110像素阵列

[0182] 120光学元件阵列

[0183] 130像素

[0184] 150、150A透明层

[0185] 160构造体

[0186] 170滤光层

[0187] 180布线层

[0188] 190透明基板

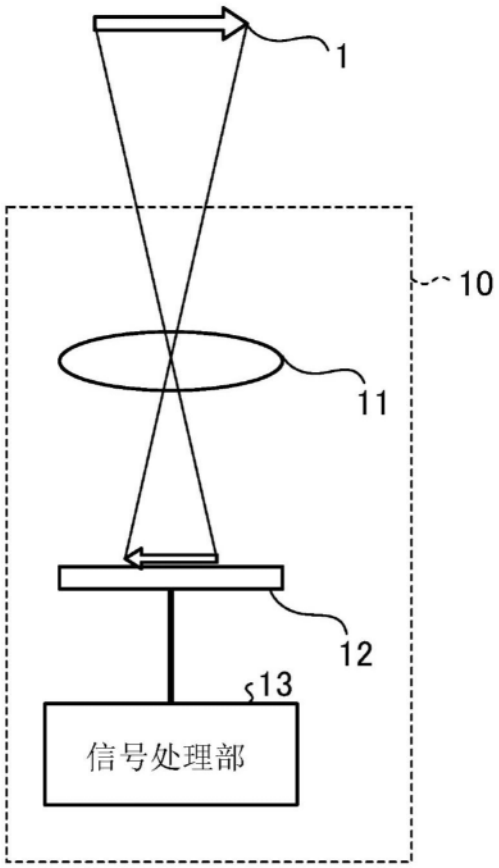


图1

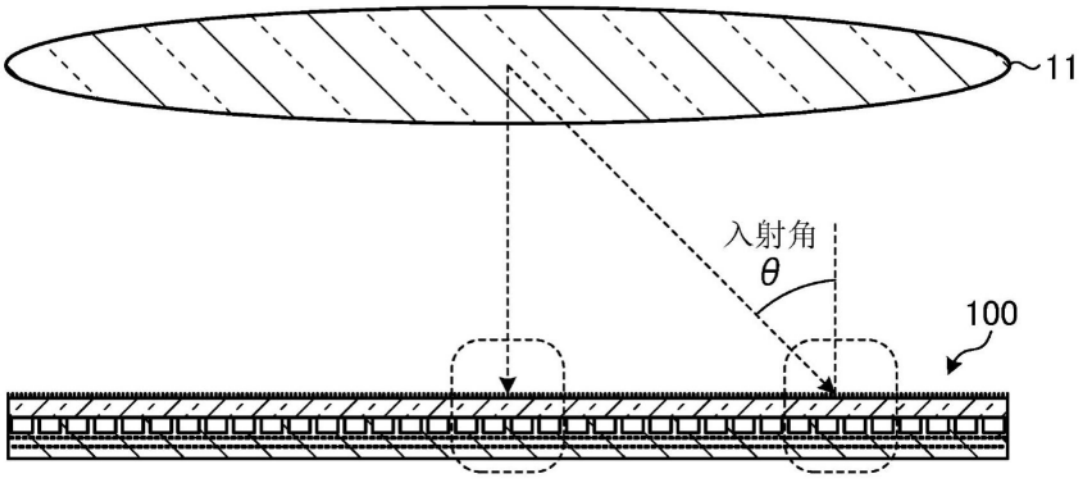


图2

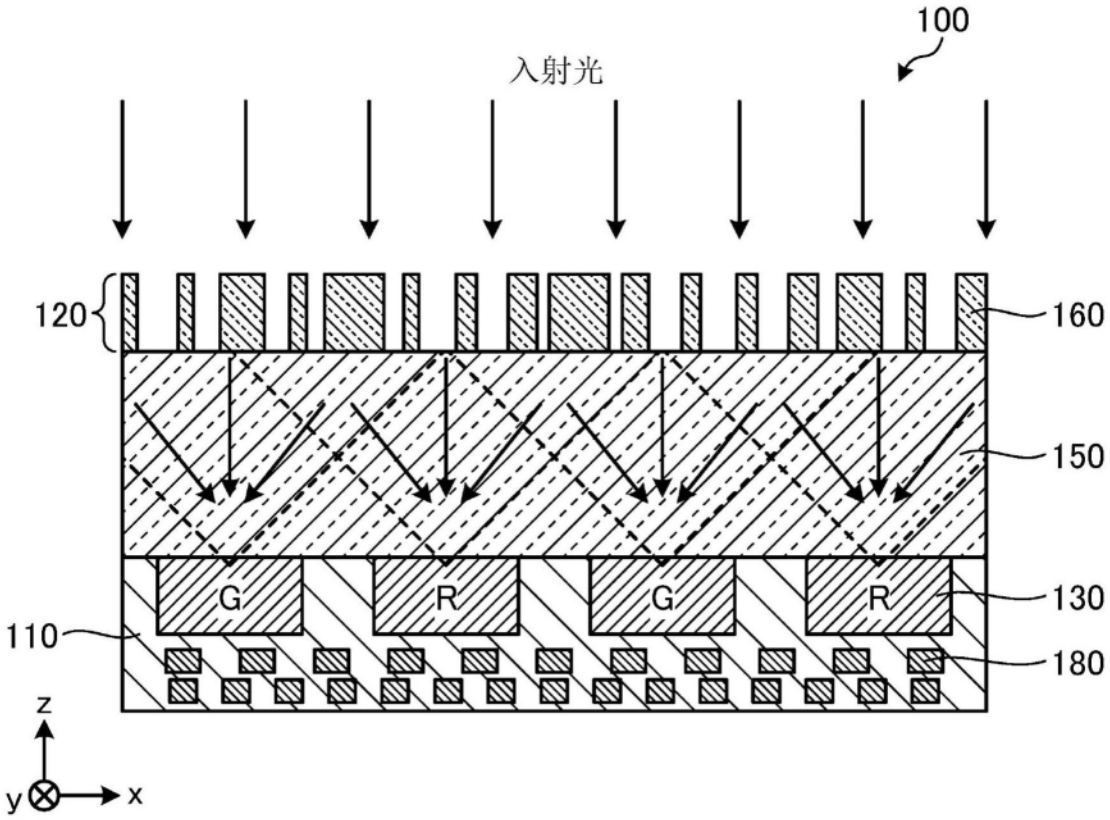


图3

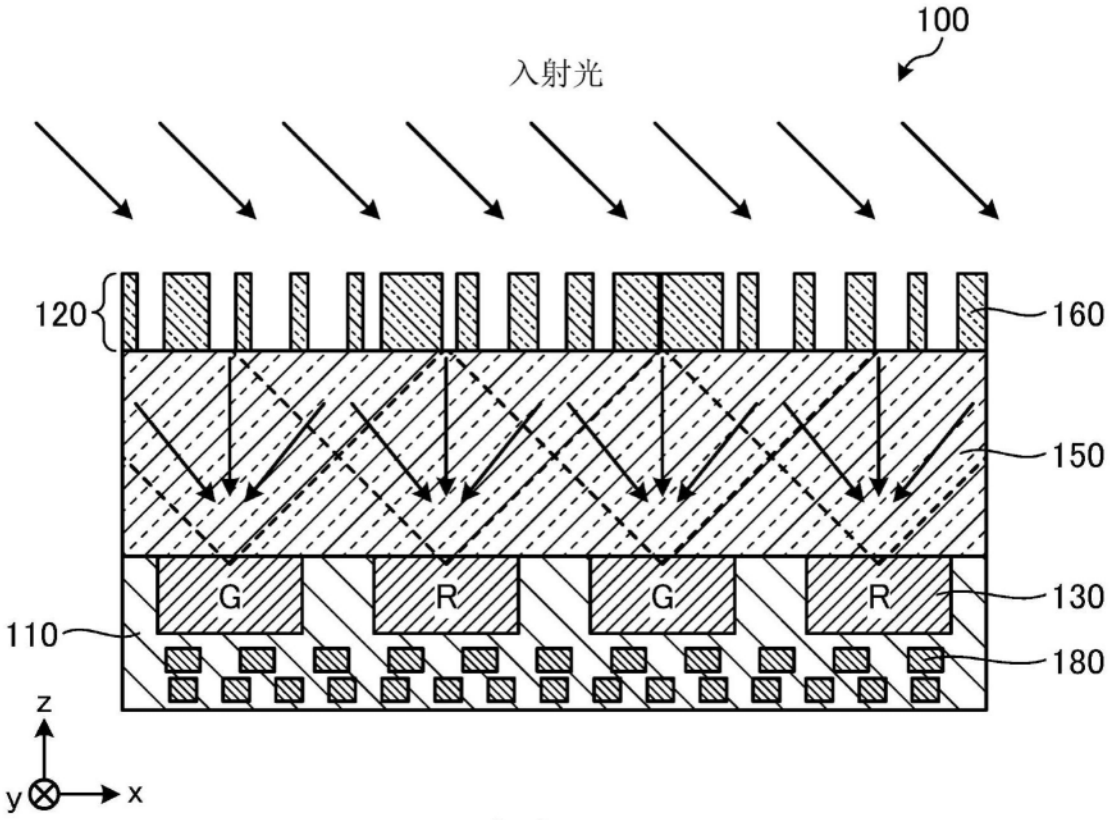


图4

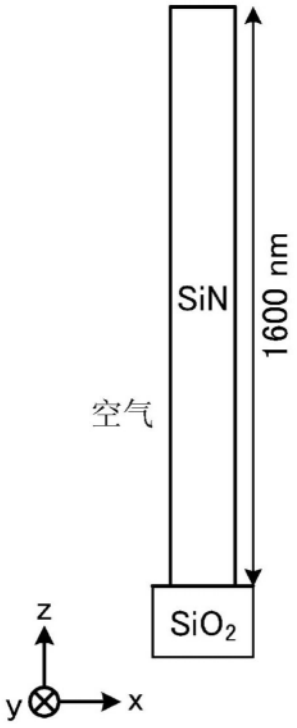


图5

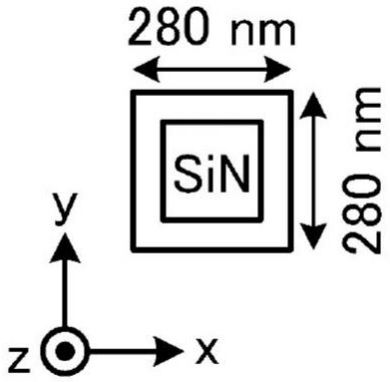


图6

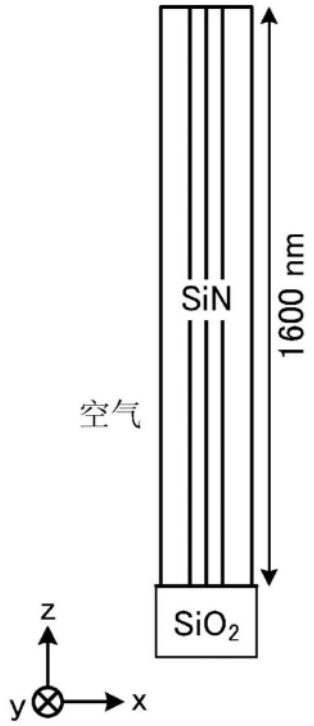


图7

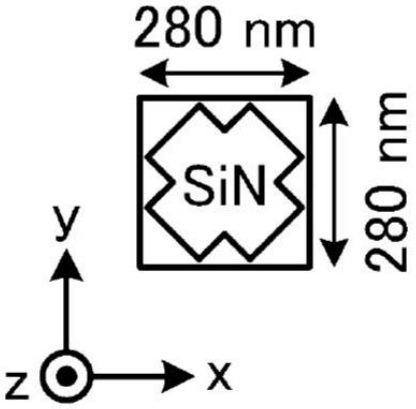


图8

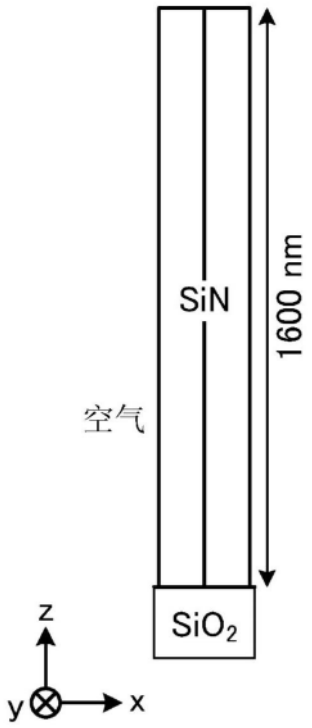


图9

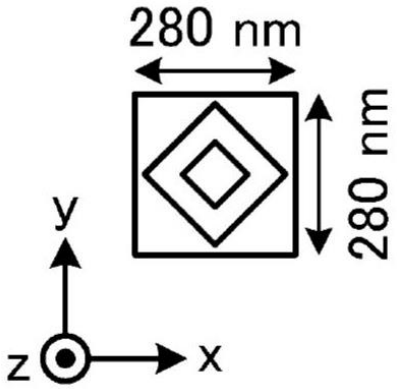

280 nm
280 nm
y
z
x

图10

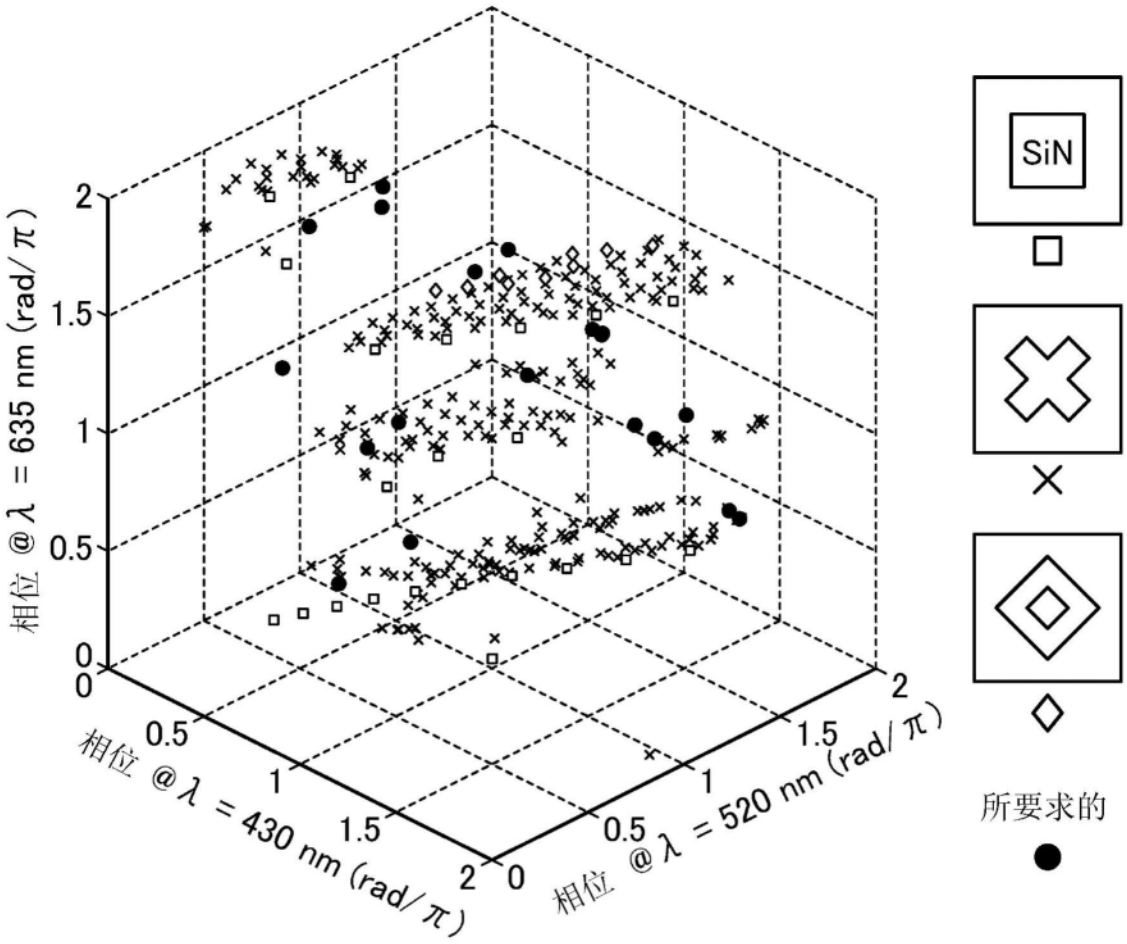

相位 @λ = 635 nm (rad/π)
相位 @λ = 430 nm (rad/π)
相位 @λ = 520 nm (rad/π)
0
0.5
1
1.5
2
SiN
所要求的

图11

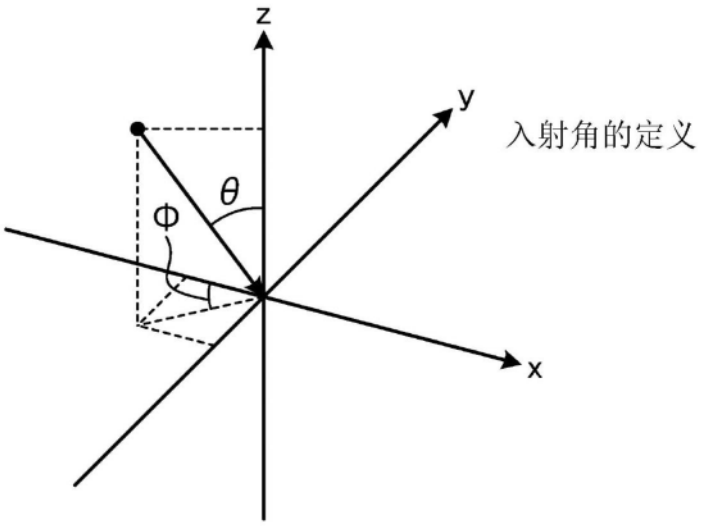

z
y
x
θ
Φ
入射角的定义

图12

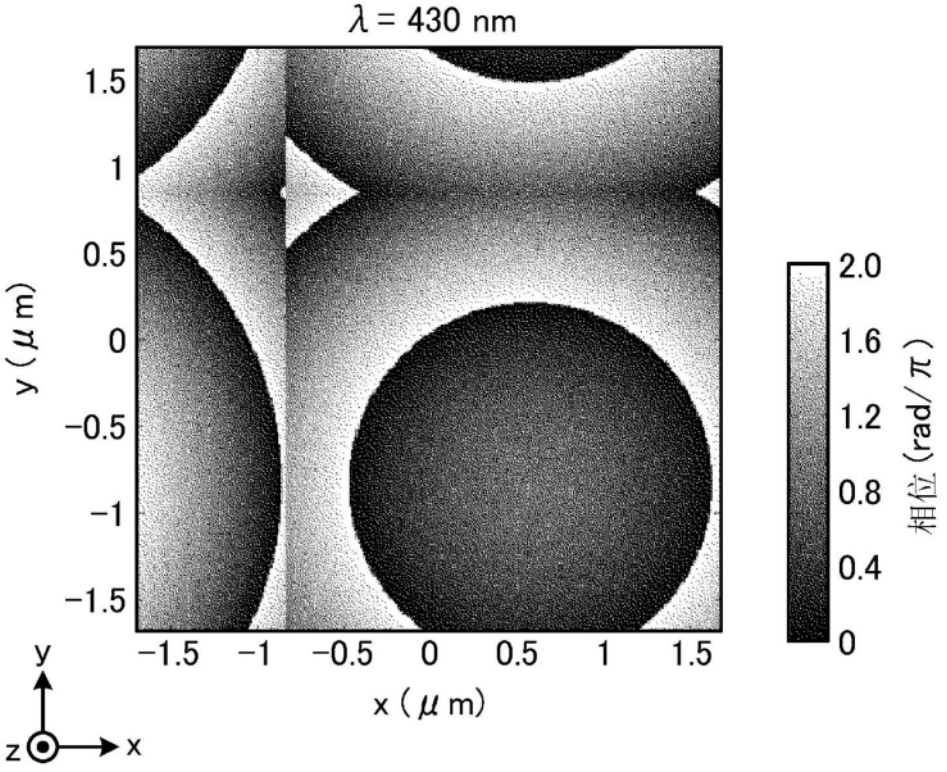

λ = 430 nm
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
y（μm）
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
x（μm）
y
z
x
2.0
1.6
1.2
0.8
0.4
0
相位（rad/π）

图13

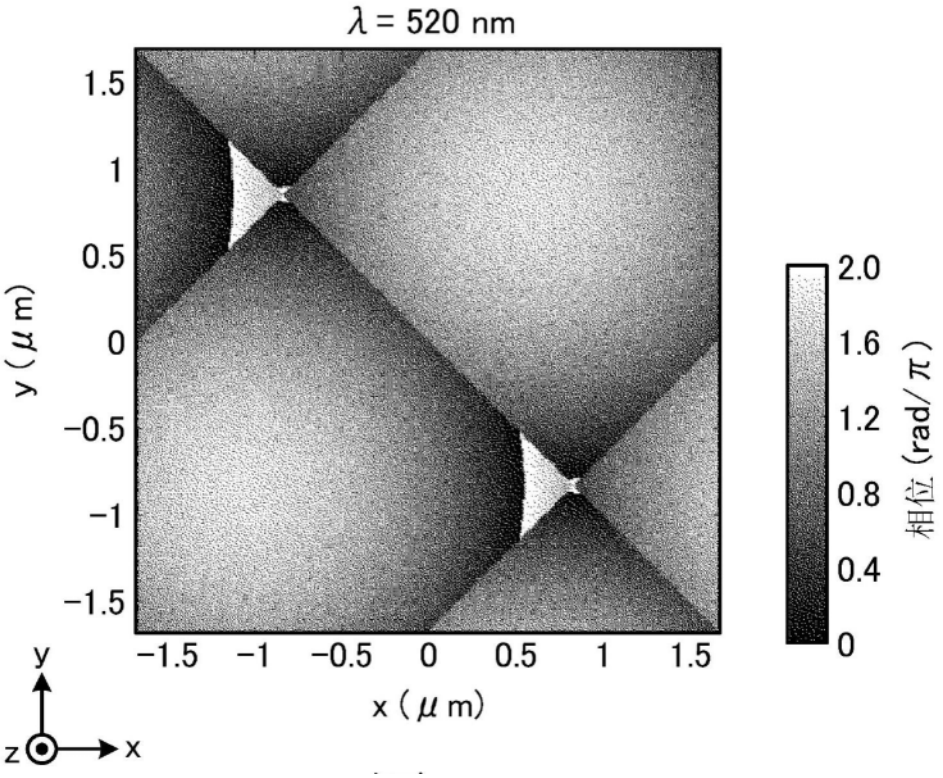

λ = 520 nm
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
y（μm）
−1.5 −1 −0.5 0 0.5 1 1.5
x（μm）
y
z
x
2.0
1.6
1.2
0.8
0.4
0
相位（rad/π）

图14

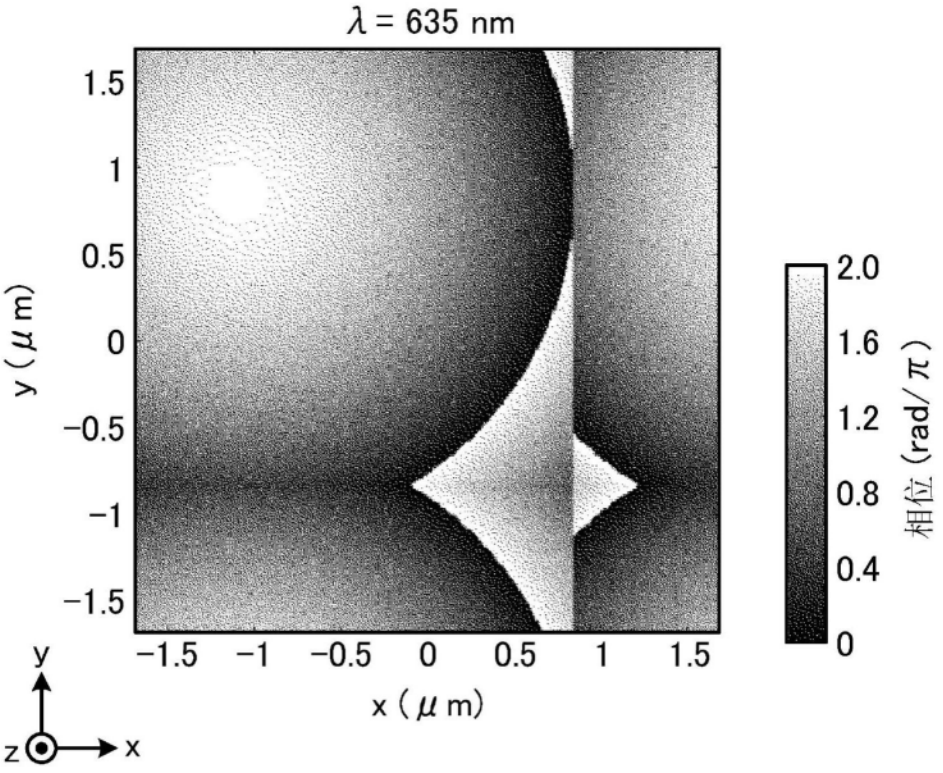

λ = 635 nm
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
y（μm）
−1.5 −1 −0.5 0 0.5 1 1.5
x（μm）
y
z
x
2.0
1.6
1.2
0.8
0.4
0
相位（rad/π）

图15

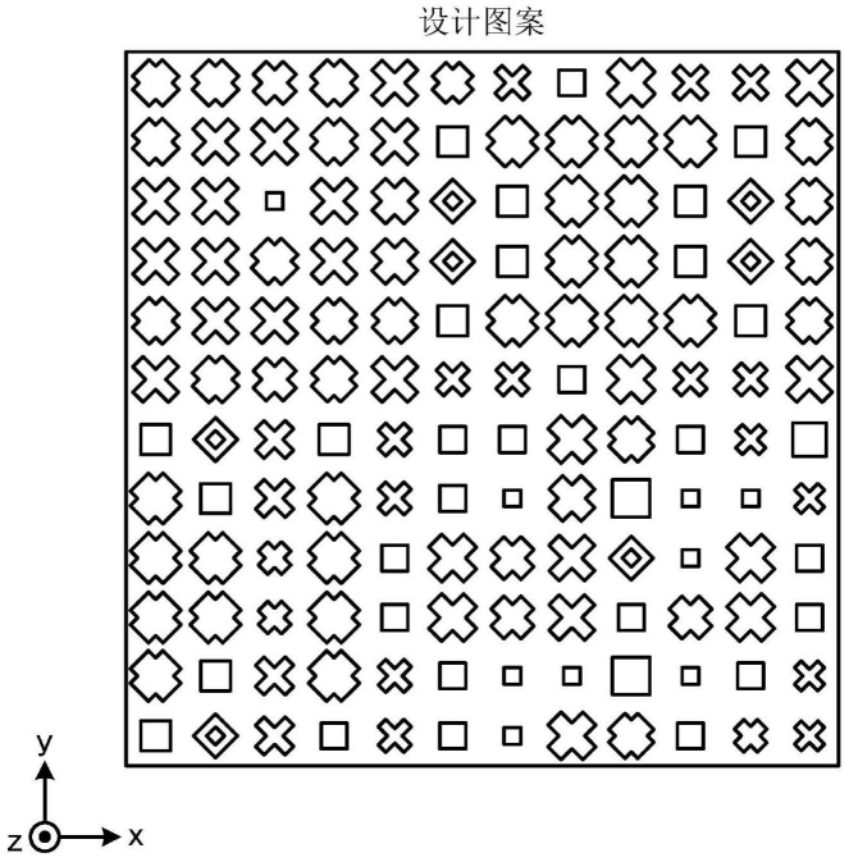


图16

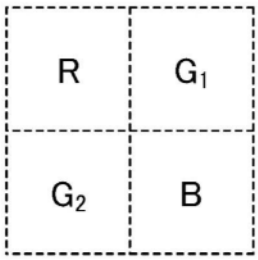


图17

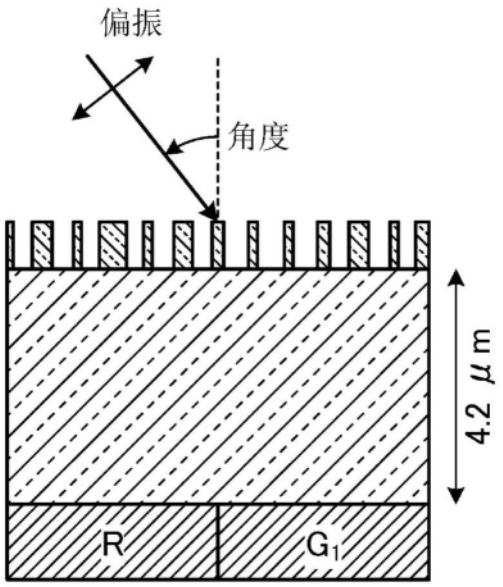


图18

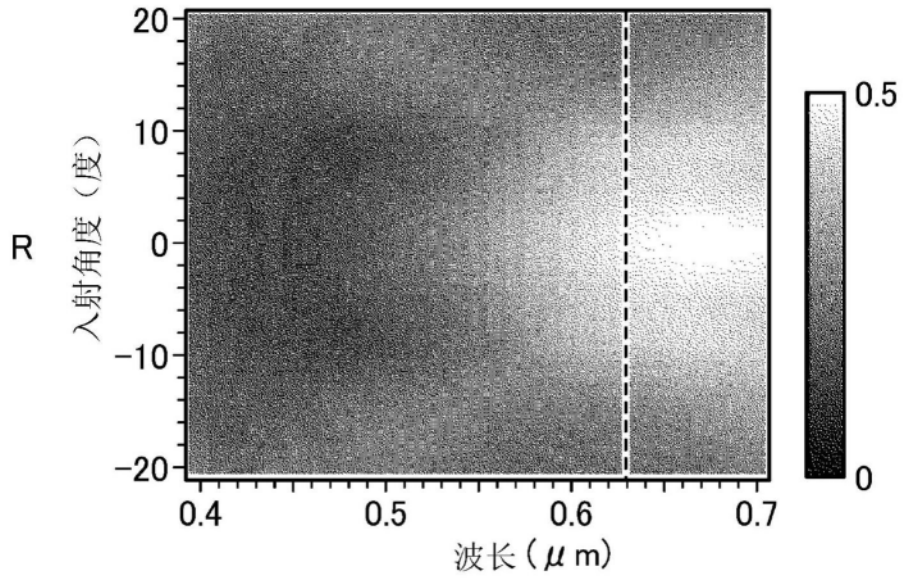


图19

]

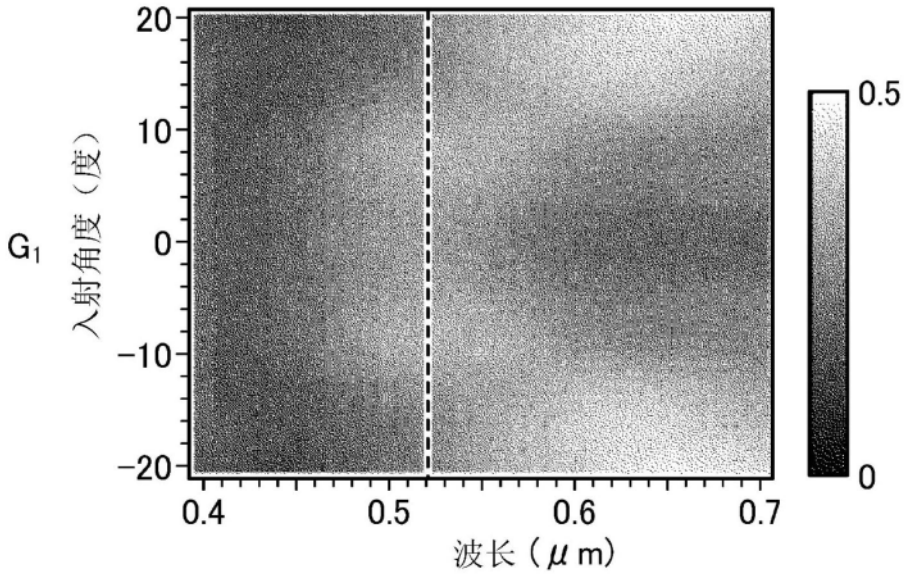

20
10
0
−10
−20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
入射角度（度）
G1
0.5
0

图20

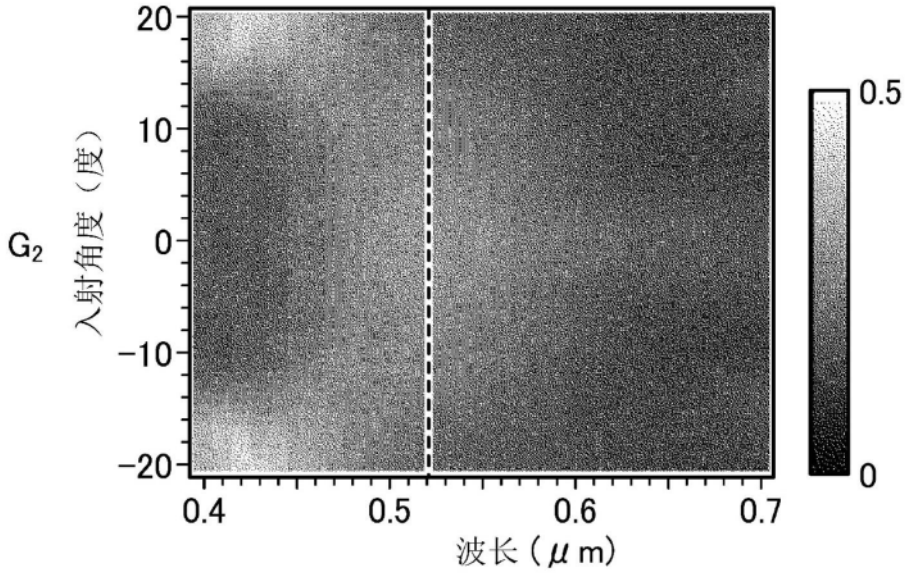

20
10
0
−10
−20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
入射角度（度）
G2
0.5
0

图21

:2]

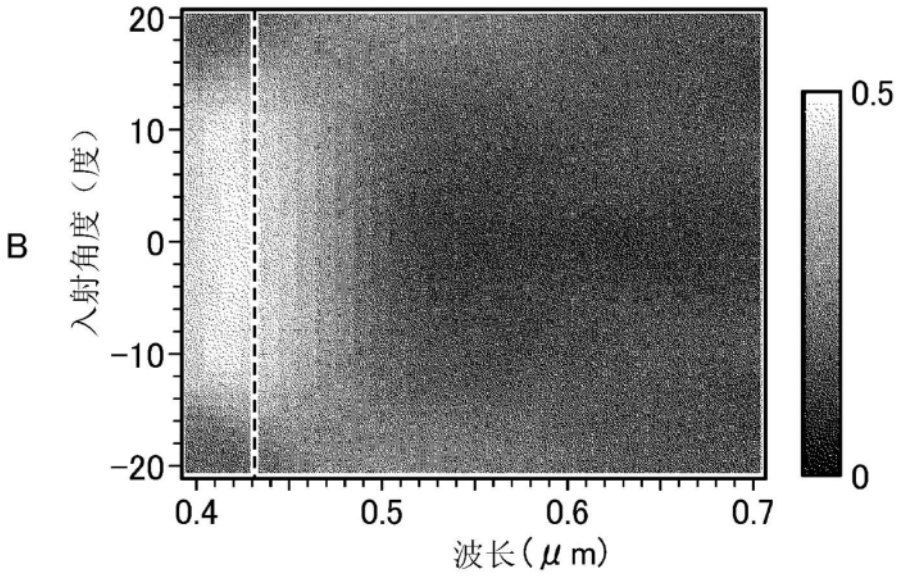

B
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图22

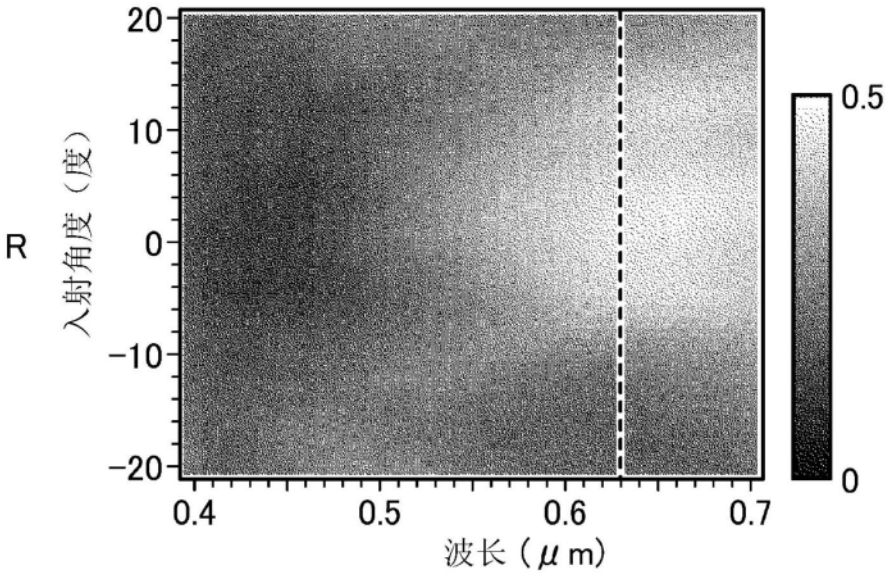

R
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图23

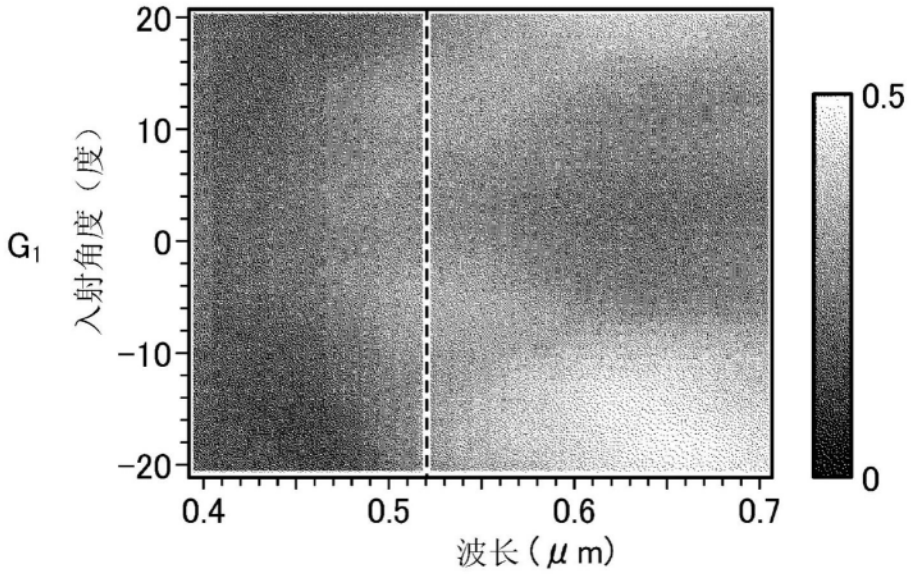

G1
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图24

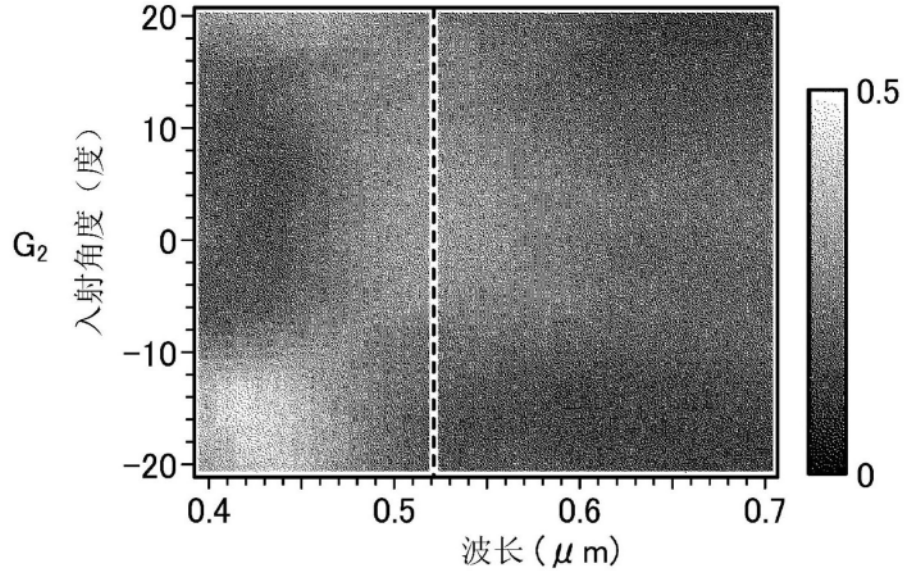

G2
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图25

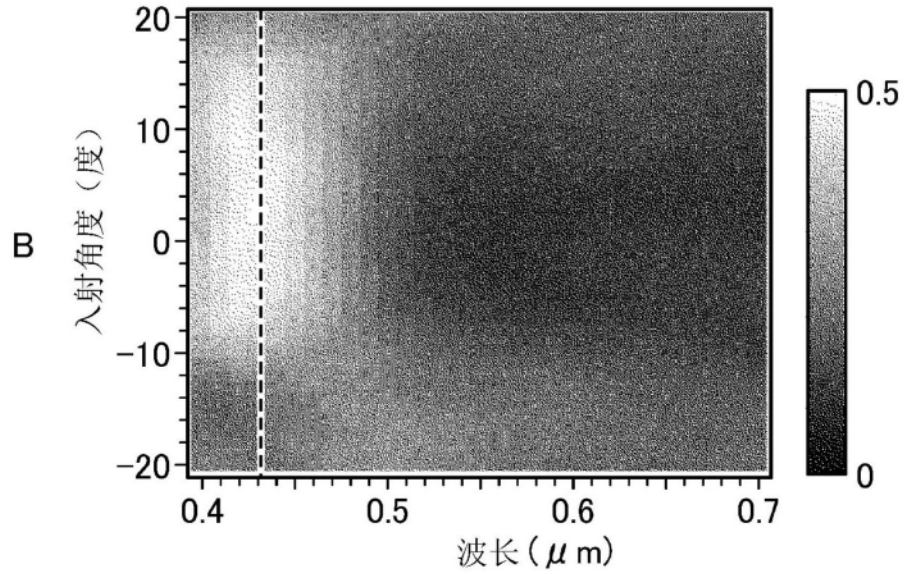

B
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图26

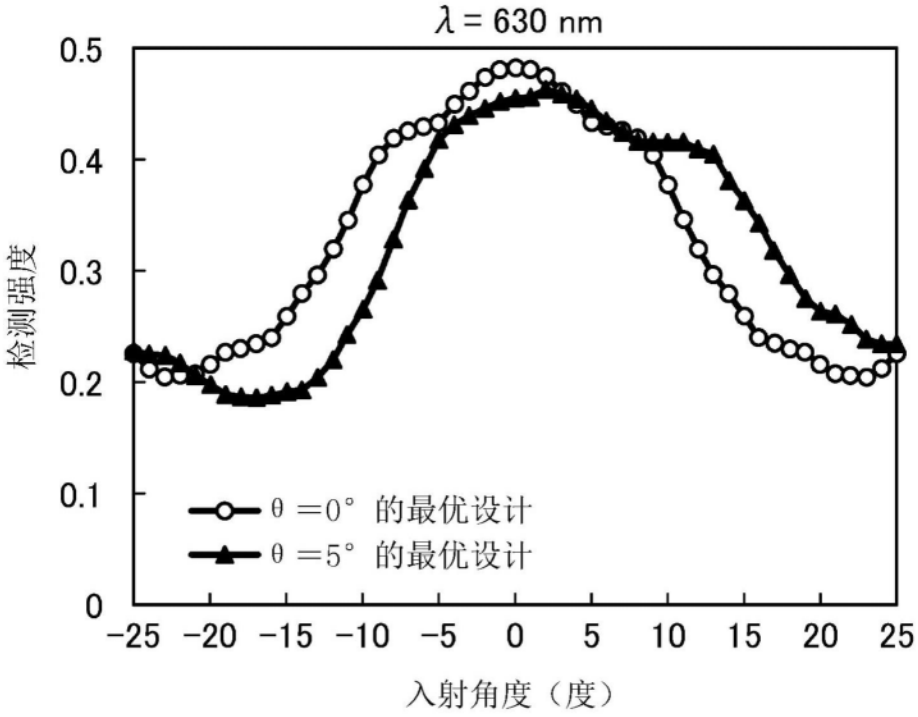

λ = 630 nm
检测强度
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
θ =0° 的最优设计
θ =5° 的最优设计
-25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25
入射角度（度）

图27

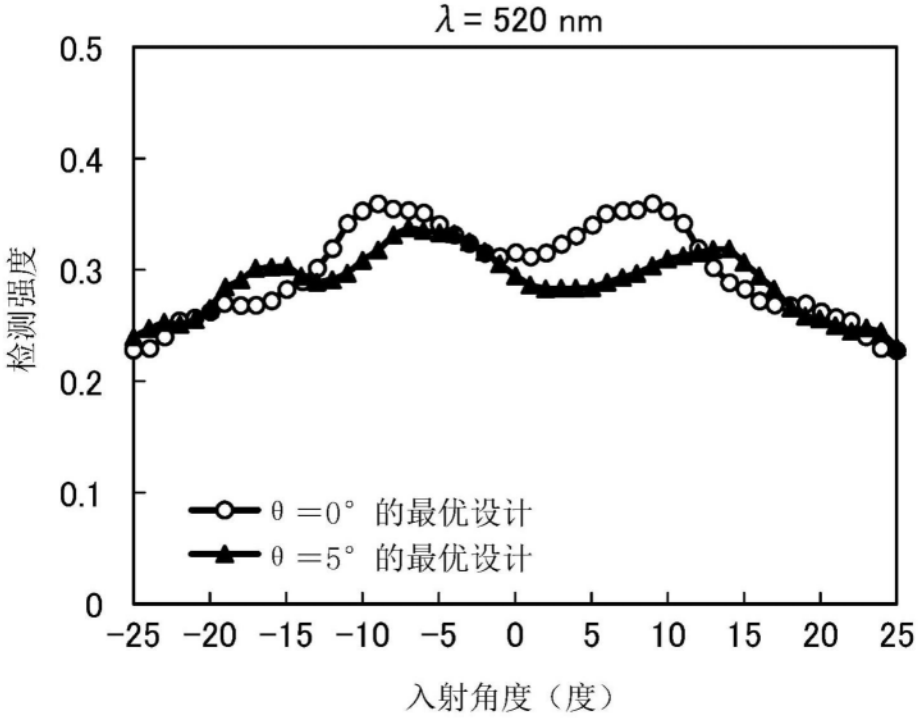

λ = 520 nm
检测强度
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
θ =0° 的最优设计
θ =5° 的最优设计
-25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25
入射角度（度）

图28

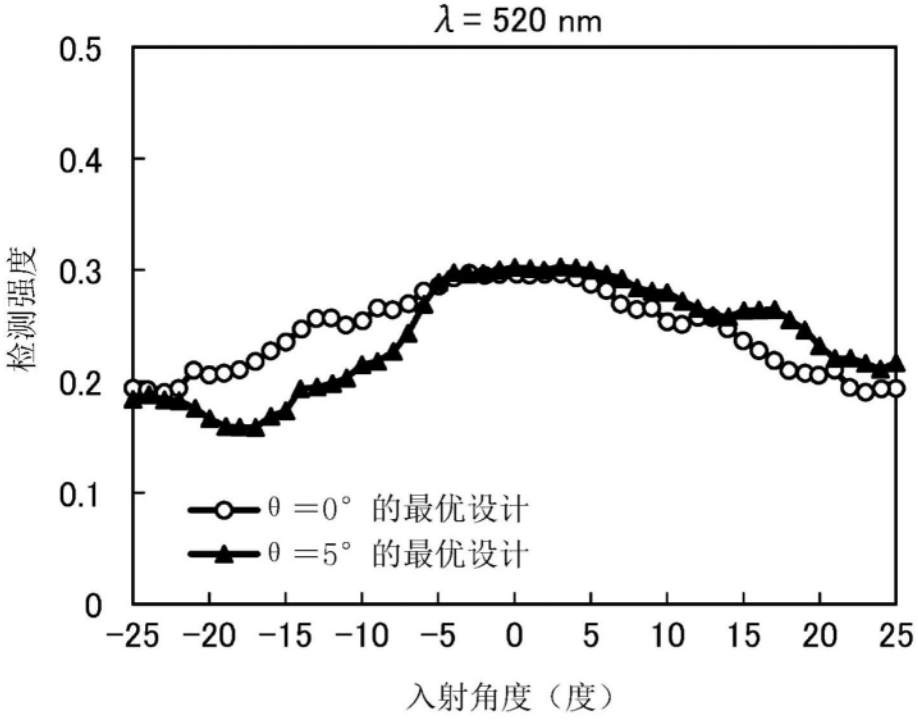

λ = 520 nm
检测强度
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
θ =0° 的最优设计
θ =5° 的最优设计
-25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25
入射角度（度）

图29

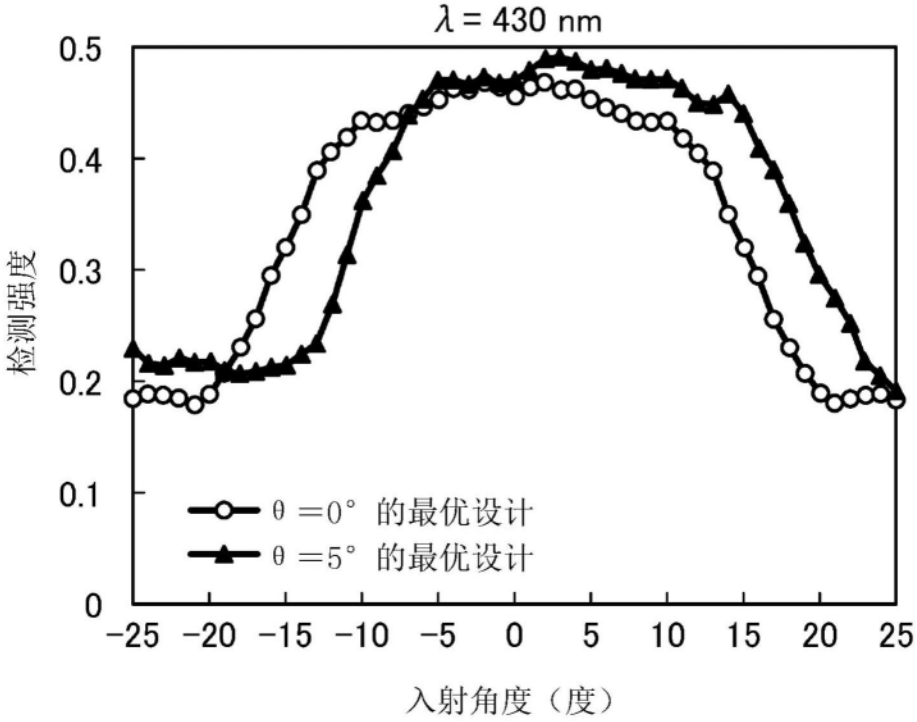

λ = 430 nm
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
检测强度
θ =0° 的最优设计
θ =5° 的最优设计
-25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25
入射角度（度）

图30

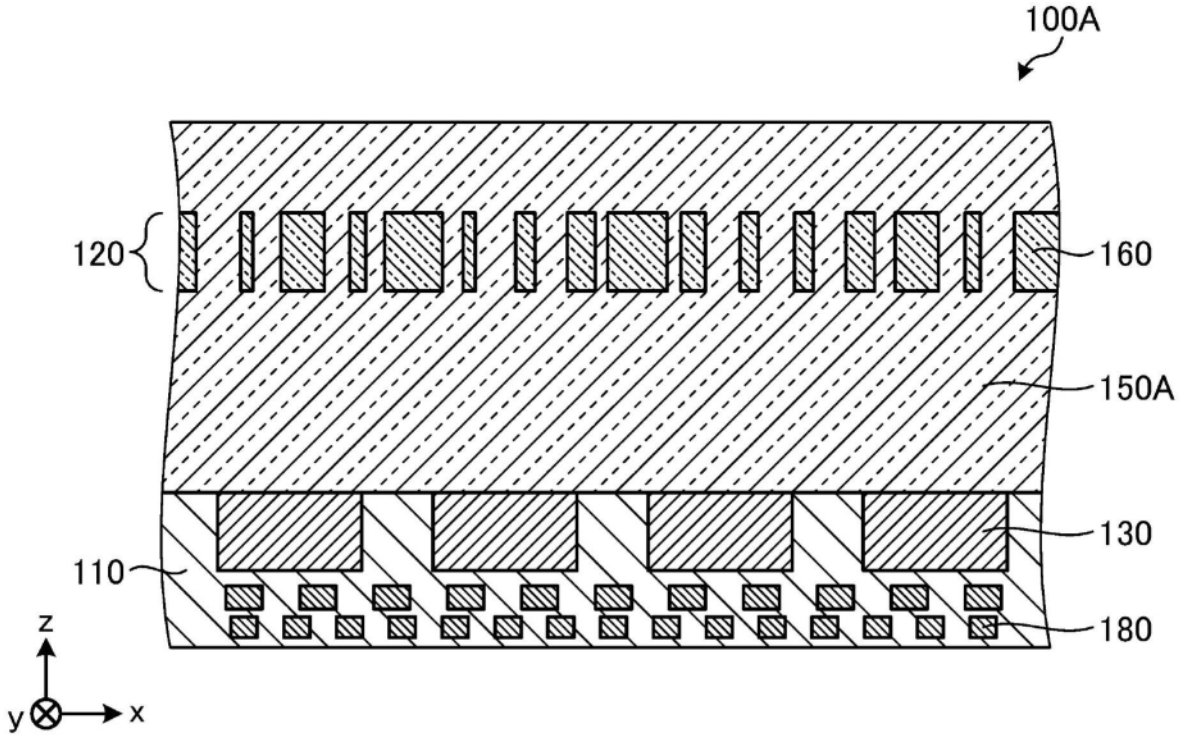

100A
120
160
150A
130
110
180
z
y
x

图31

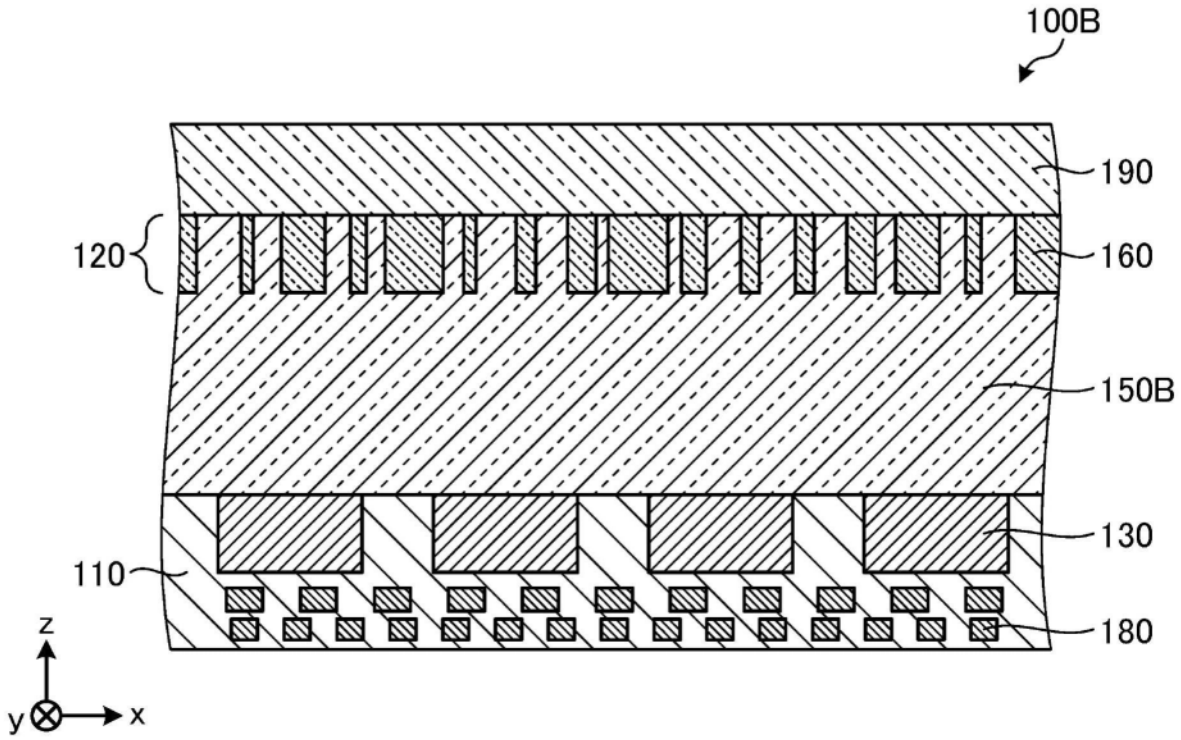


图32

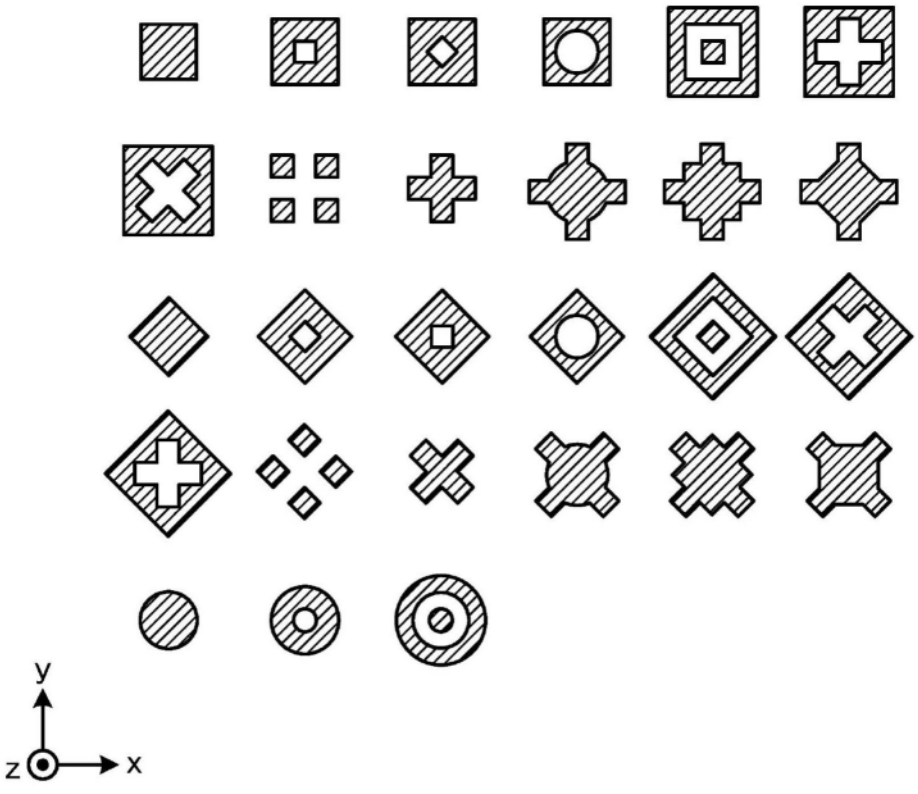


图33

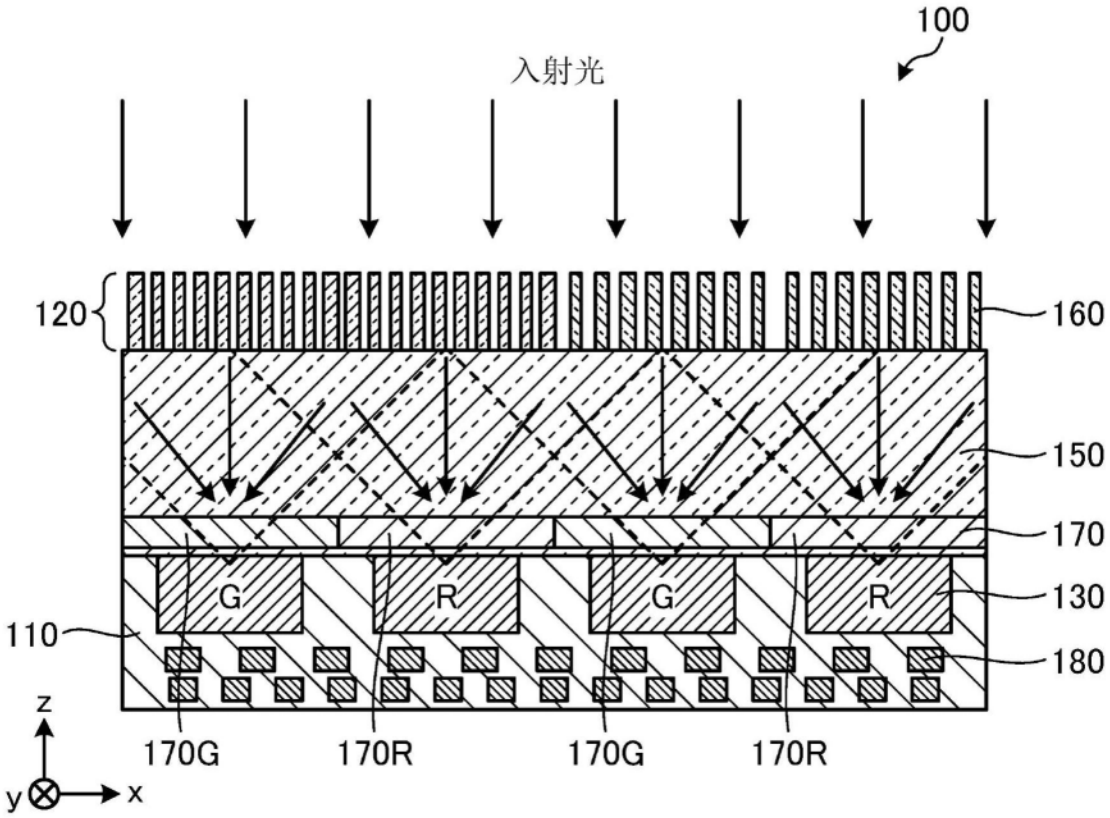

100
入射光
120
160
150
170
G
R
G
R
130
110
180
z
y
x
170G
170R
170G
170R

图34

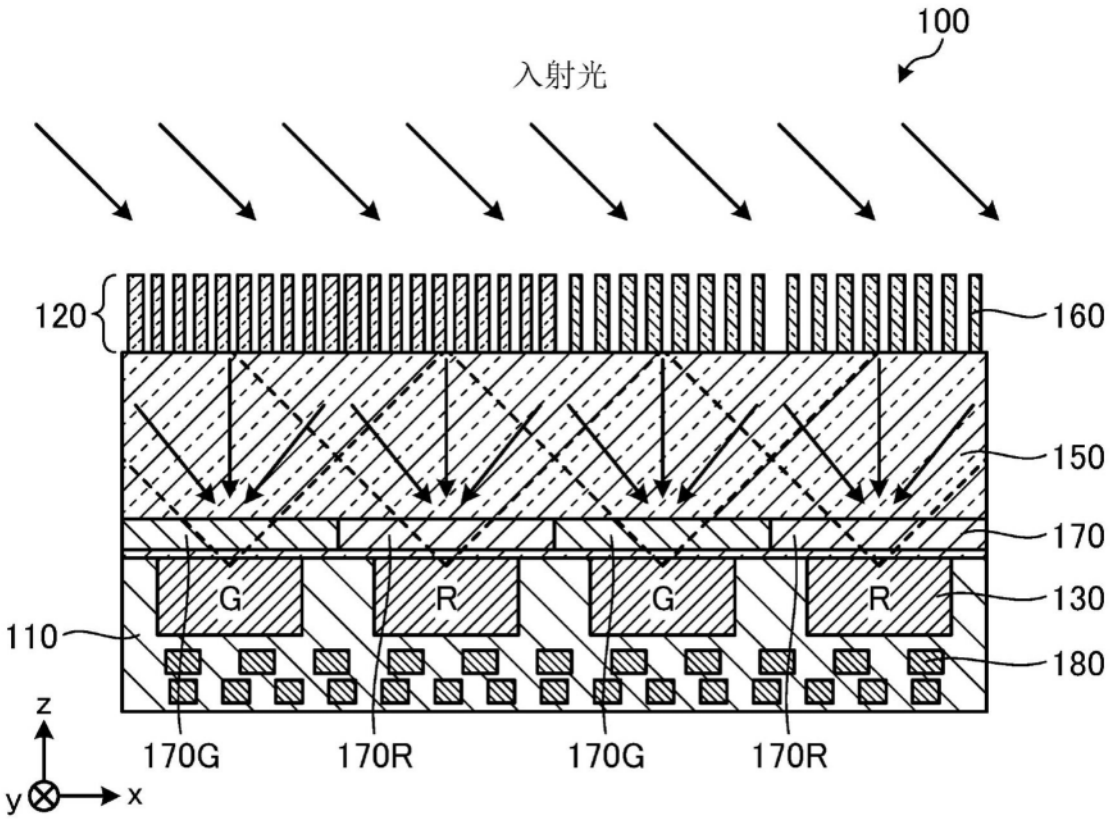

100
入射光
120
160
150
170
G
R
G
R
130
110
180
z
y
x
170G
170R
170G
170R

图35

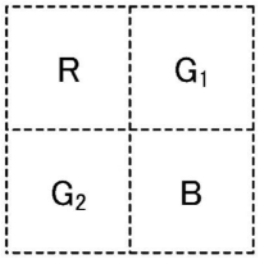

R
G1
G2
B

图36

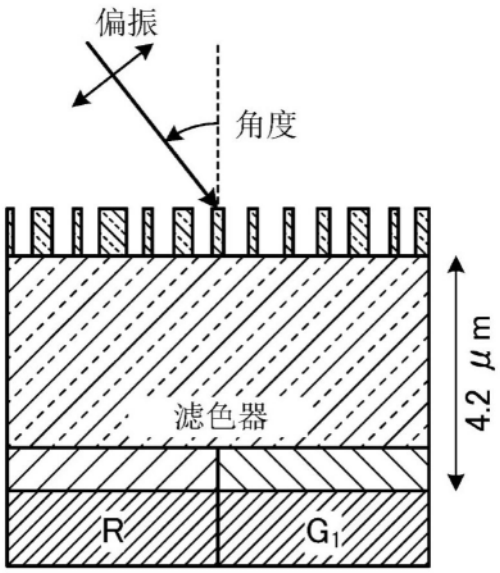


图37

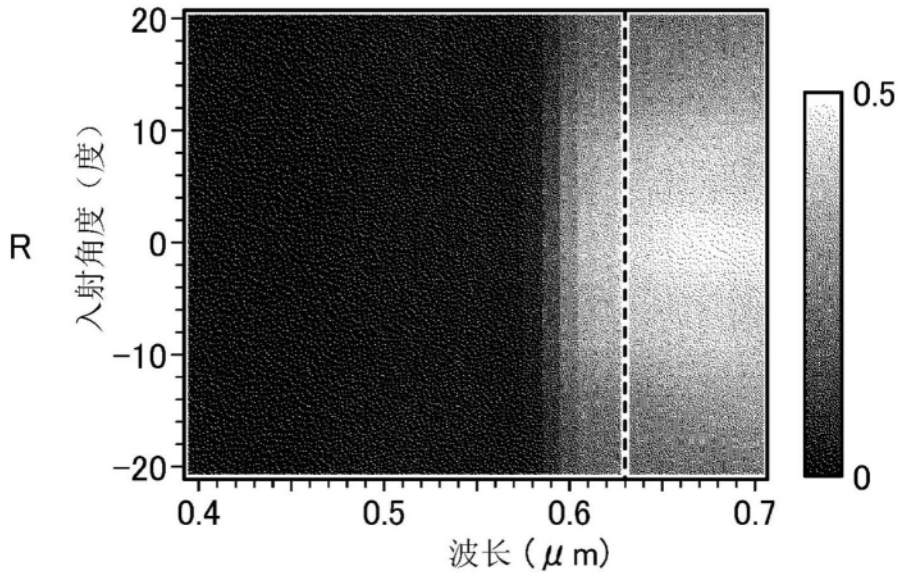


图38

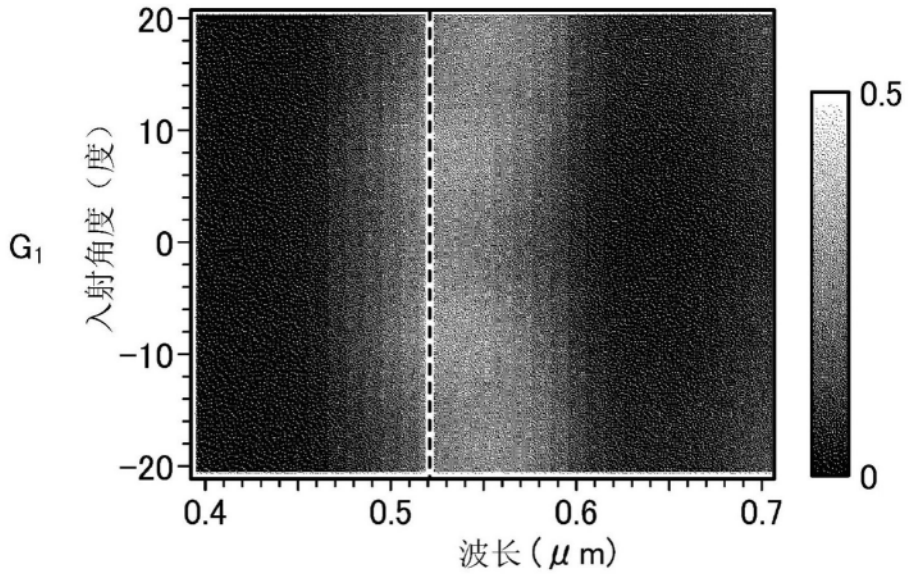

G1
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图39

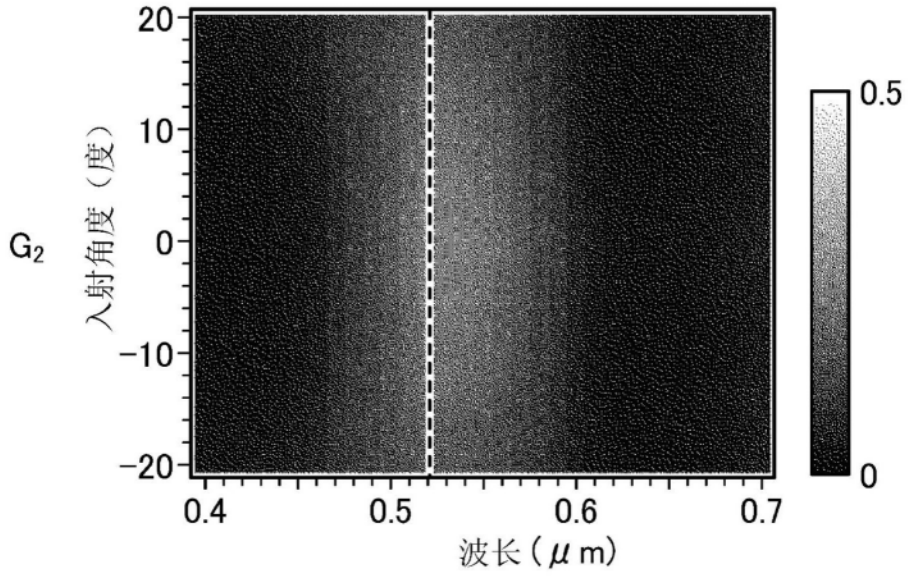

G2
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图40

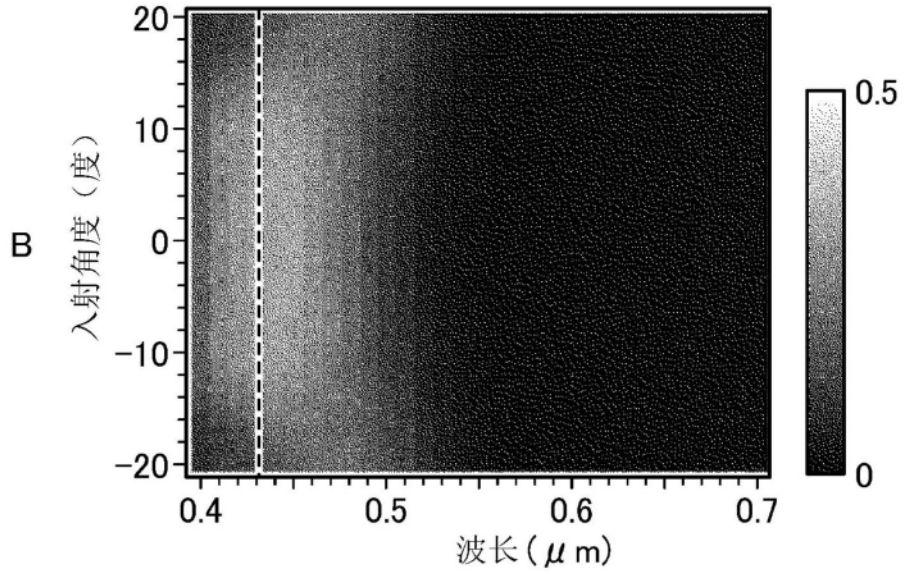

B
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图41

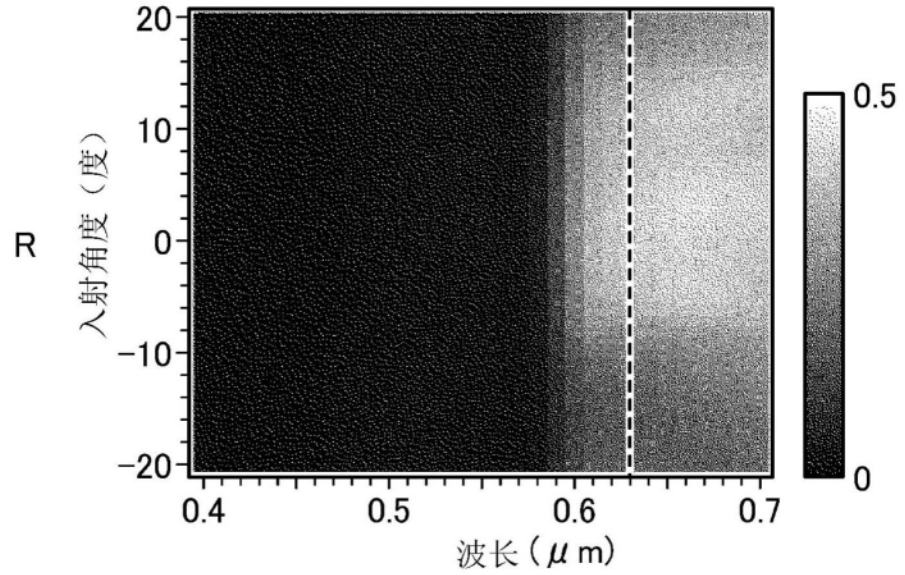

R
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图42

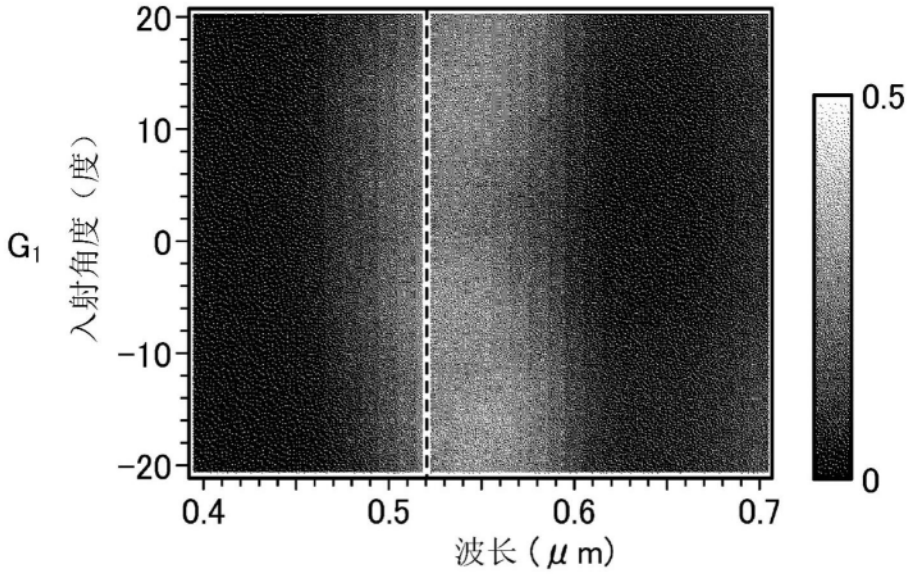

G1
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图43

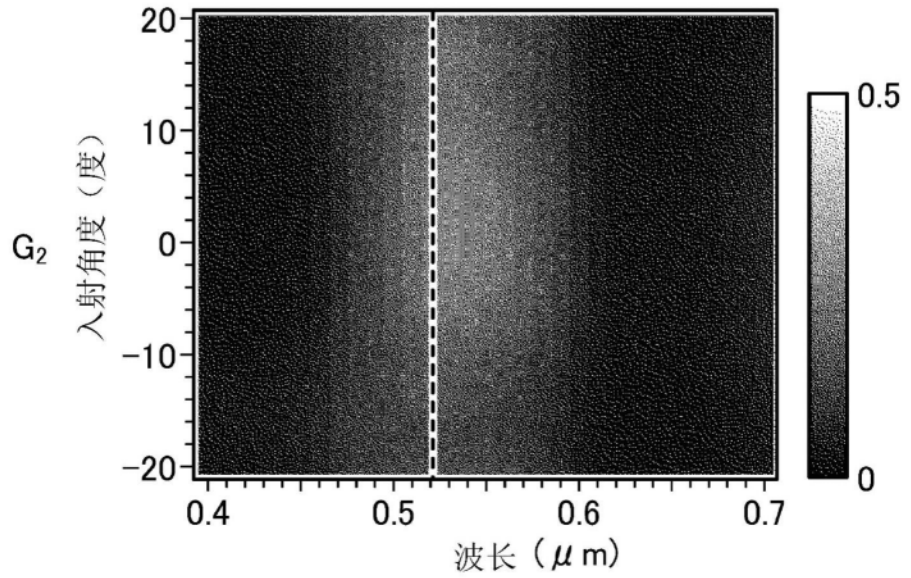

G2
入射角度（度）
20
10
0
-10
-20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图44

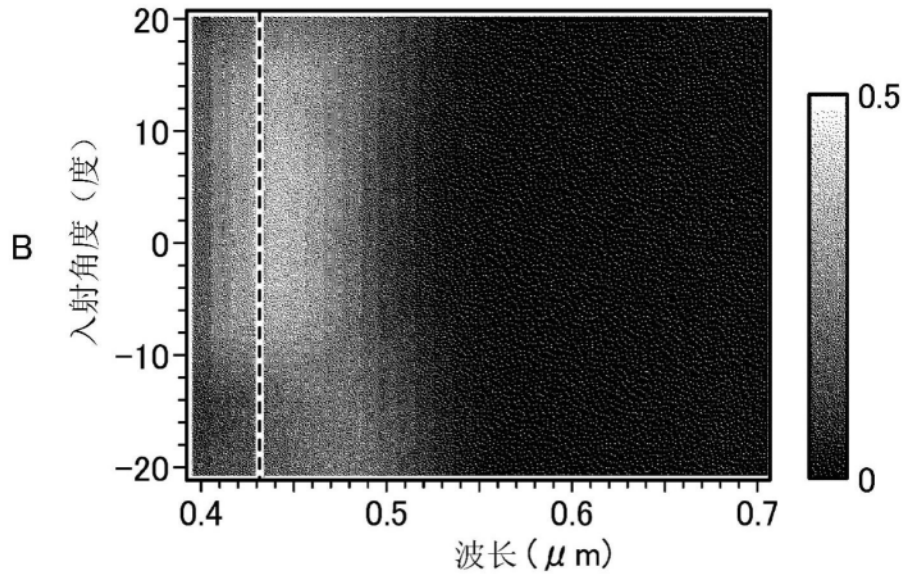

B
入射角度（度）
20
10
0
−10
−20
0.4
0.5
0.6
0.7
波长（μm）
0.5
0

图45

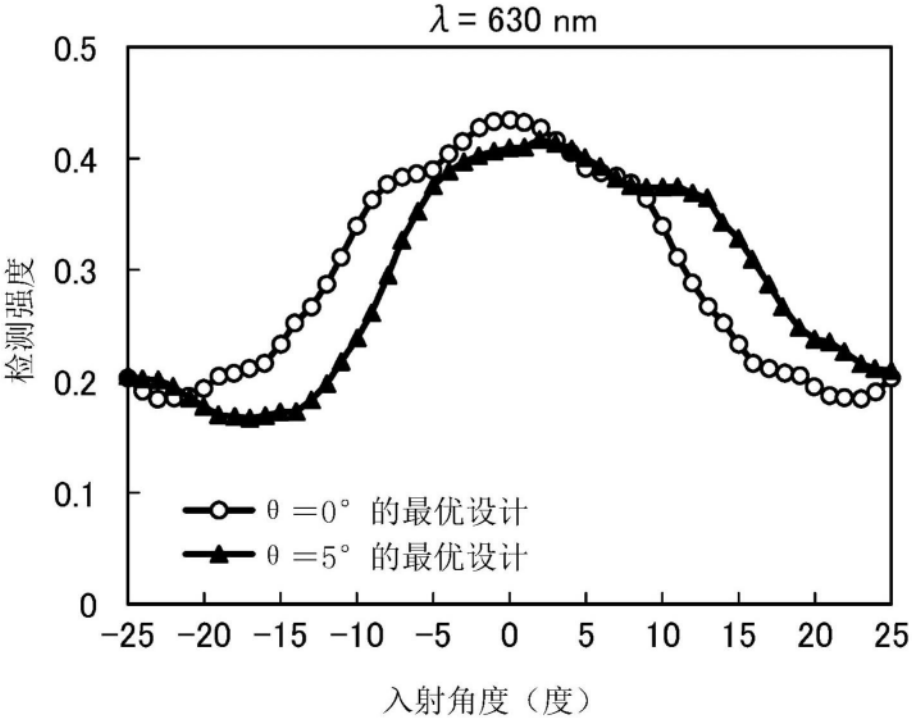

λ = 630 nm
检测强度
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
θ =0° 的最优设计
θ =5° 的最优设计
−25 −20 −15 −10 −5 0 5 10 15 20 25
入射角度（度）

图46

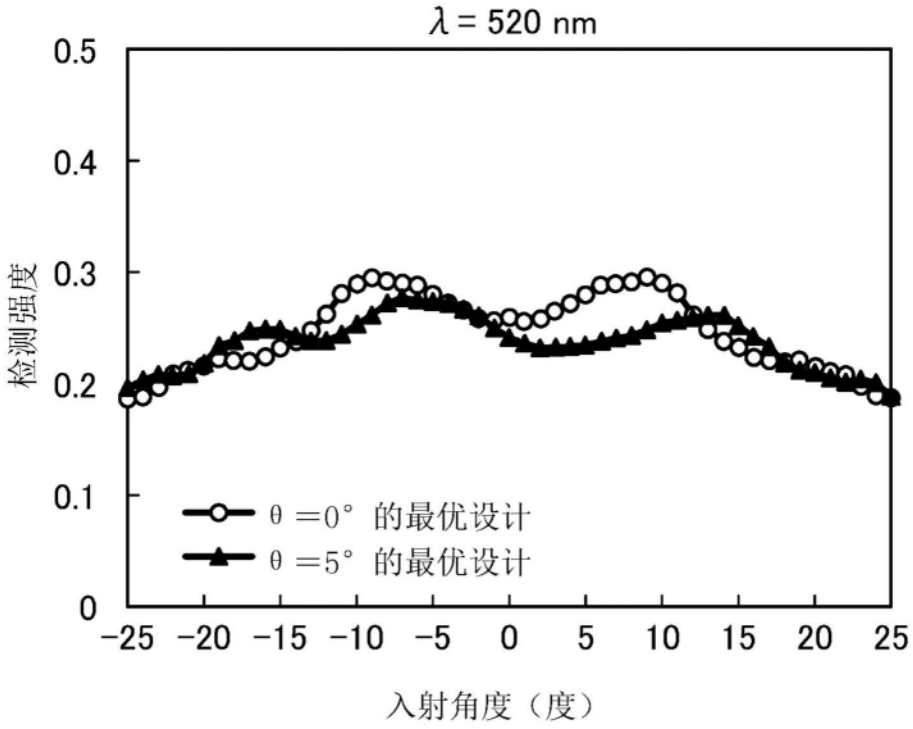

λ = 520 nm
检测强度
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
θ =0° 的最优设计
θ =5° 的最优设计
-25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25
入射角度（度）

图47

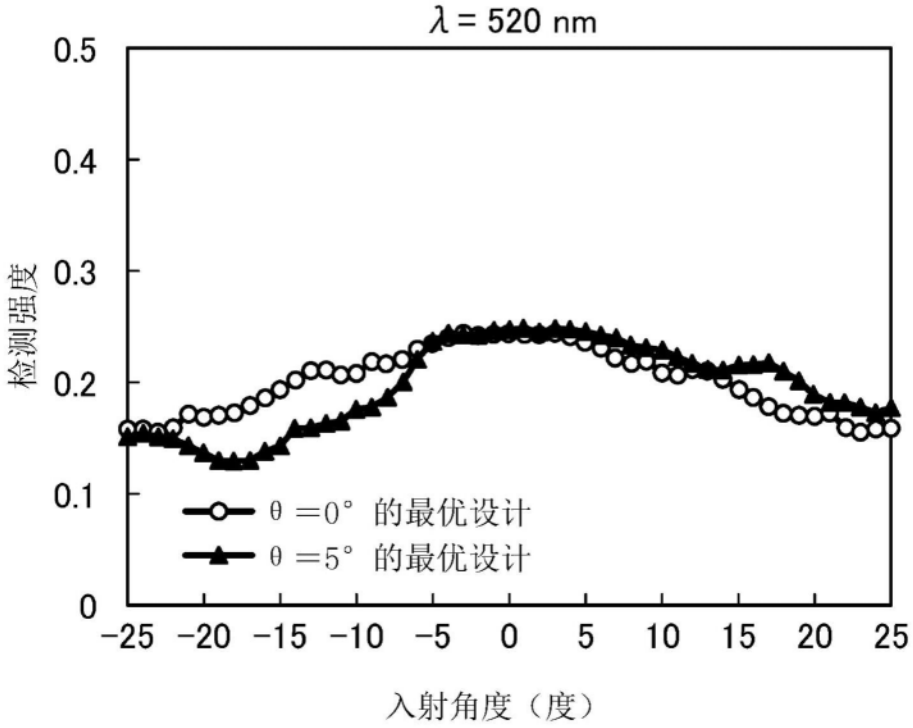

λ = 520 nm
检测强度
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
θ =0° 的最优设计
θ =5° 的最优设计
-25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25
入射角度（度）

图48

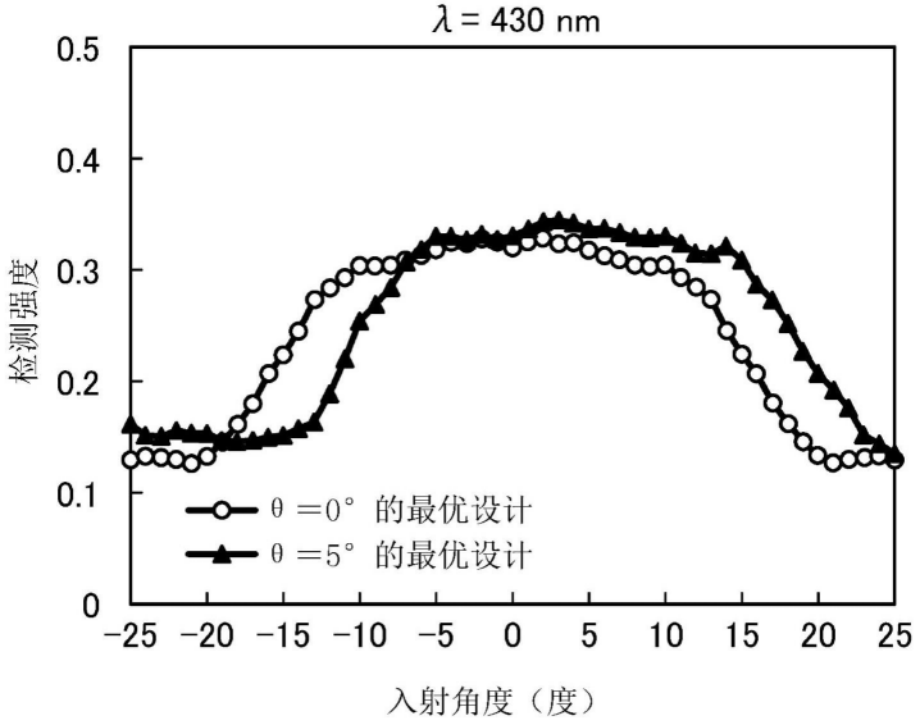

λ = 430 nm
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
检测强度
θ =0° 的最优设计
θ =5° 的最优设计
−25 −20 −15 −10 −5 0 5 10 15 20 25
入射角度（度）

图49


R
G
NIR
B

图50