(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 117716275 A
(43)申请公布日 2024.03.15

(21)申请号 202280052597.7

(22)申请日 2022.03.30

(30)优先权数据
2021-125659 2021.07.30 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.01.26

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/016242 2022.03.30

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/007863 JA 2023.02.02

(71)申请人 松下知识产权经营株式会社
地址 日本大阪府

(72)发明人 南和博 庄林宽幸 葛原聪

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021
专利代理师 王亚爱

(51)Int.Cl.
G02B 27/01(2006.01)

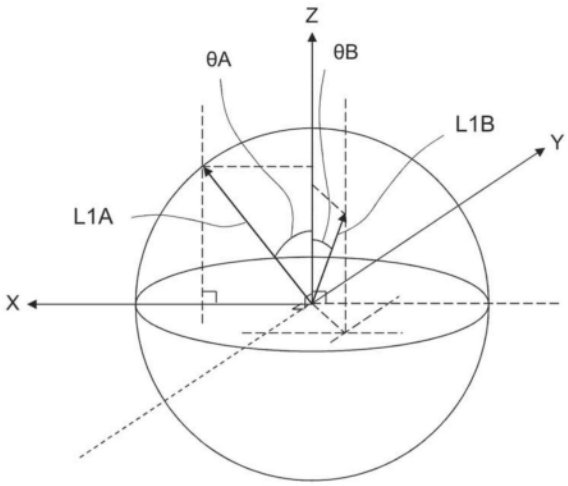
权利要求书2页 说明书12页 附图21页

(54)发明名称

光学系统以及具备其的平视显示器系统

(57)摘要

光学系统具备导光体。从显示部入射到导光体的光束通过扩展区域的衍射构造所引起的衍射向与像的水平方向对应的第1方向、或与像的垂直方向对应的第2方向被复制。将相对于扩展区域中的导光体的法线方向设为Z轴方向,将切平面设为XY平面。在XY平面,在将入射到扩展区域的光束的中心光线的行进方向设为X轴、将与X轴垂直的方向设为Y轴时,扩展区域的衍射构造形成为将入射到扩展区域的光束在从Z轴的正的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束、和在从Z轴的负的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束收容在能视觉辨识像的视野角内。扩展区域的衍射构造相对于Z轴方向倾斜。



CN 117716275 A

1.一种光学系统,具备:

显示部,其出射被观察者视觉辨识为所述像的光束;和

导光体,其复制所述光束,

所述导光体具有:来自所述显示部的光束入射的入射面;和光束从所述导光体出射的出射面,

从所述显示部出射的光束的中心的光线入射到所述导光体的入射面,

入射到所述导光体的所述入射面的光束通过所述导光体内的耦合区域的衍射构造所引起的衍射而变更行进方向,

变更了所述行进方向的光束在通过所述导光体内的扩展区域的衍射构造所引起的衍射向与观察者所视觉辨识的所述像的水平方向对应的第1方向、或与所述像的垂直方向对应的第2方向、或这两个方向被复制从而扩展后,从所述出射面出射,

将相对于所述扩展区域的中心或重心处的所述导光体的表面的法线方向设为Z轴方向,将切平面设为XY平面,

在所述XY平面,在将入射到所述扩展区域的光束的中心光线的行进方向设为X轴、将与所述X轴垂直的方向设为Y轴时,

所述扩展区域的衍射构造形成为将入射到所述扩展区域的光束在从所述Z轴的正的方向透射所述扩展区域的所述XY平面的情况下被复制的光束、和在从所述Z轴的负的方向透射所述扩展区域的所述XY平面的情况下被复制的光束收容在能视觉辨识所述像的视野角内,

所述扩展区域的衍射构造相对于所述Z轴方向倾斜。

2.根据权利要求1所述的光学系统,其中,

在将所述观察者所看到的所述像的所述视野角设为±F度,将所述XY平面中的所述扩展区域的衍射构造与入射到所述扩展区域的光束的行进方向之间的角度设为α度,将所述衍射构造与所述Z轴之间的倾斜角设为β度,将入射到所述扩展区域的光束的中心光线与所述Z轴之间的角度设为θA度,将在所述扩展区域中进行衍射而出射的光束的中心光线与所述Z轴之间的角度设为θB度时,满足以下的关系式:

$|\theta A-\theta B|<|F|/2$、且

$|\beta|\times 2\times\cos(\alpha)\leqslant|F|-|\theta A-\theta B|$

其中$\beta\neq 0$。

3.根据权利要求2所述的光学系统,其中,

所述光学系统具有2个所述扩展区域,

一方的所述扩展区域通过将入射到所述一方的扩展区域的光束向与所述观察者所视觉辨识的所述像的水平方向对应的所述第1方向进行复制,由此进行扩展,

另一方的所述扩展区域通过将入射到所述另一方的扩展区域的光束向与所述观察者所视觉辨识的所述像的垂直方向对应的所述第2方向进行复制,由此进行扩展。

4.根据权利要求3所述的光学系统,其中,

在所述2个扩展区域,在所述衍射构造的衍射间距窄的一方的所述扩展区域,满足所述关系式。

5.根据权利要求1~4中任一项所述的光学系统,其中,

所述扩展区域包含透射型体积全息图。

6.根据权利要求5所述的光学系统,其中,

所述体积全息图的Z方向的厚度T[μm]和入射到所述体积全息图的光束的波长λ[μm]满足以下的关系式:

$T>(-2.3576\times\lambda+0.0952)\times|F|+(22.3540\times\lambda-0.9125)$。

7.根据权利要求5或6所述的光学系统,其中,

所述体积全息图的Z方向的厚度T[μm]和入射到所述体积全息图的光束的波长λ[μm]满足以下的关系式:

$T<(-3.8645\times\lambda-0.2185)\times|F|+(37.4910\times\lambda+1.5298)$。

8.根据权利要求1~7中任一项所述的光学系统,其中,

从所述显示部出射的光束的中心的光线相对于所述导光体的所述入射面的法线方向倾斜地入射,从所述导光体出射的光束的中心的光线相对于所述导光体的出射面的法线方向倾斜地出射。

9.一种平视显示器系统,具备:

权利要求1~8中任一项所述的光学系统;和

透光构件,其反射从所述导光体出射的光束,

在经由所述透光构件能视觉辨识的实景将所述像作为虚像重叠地进行显示。

10.根据权利要求9所述的平视显示器系统,其中,

所述透光构件是移动体的挡风玻璃。

光学系统以及具备其的平视显示器系统

技术领域

[0001] 本公开涉及像的显示中所用的光学系统以及具备其的平视显示器系统。

背景技术

[0002] 过去,公开了使用平视显示器装置进行增强现实(AR)显示的车辆信息投影系统。平视显示器装置例如通过在车辆的挡风玻璃投影表征虚像的光,来使驾驶者将虚像和车辆的外界的实景一起视觉辨识。

[0003] 作为使虚像显示的装置,在专利文献1中记载了具备用于将出射光瞳在2方向上进行扩展的波导路(导光体)的光学要素。光学要素能利用衍射光学元件来扩展出射光瞳。此外,在文献2中记载了使用体积全息衍射光栅来进行增强现实(AR)显示的头戴显示器。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:美国专利第10429645号说明书

[0007] 专利文献2:国际公开第2018/198587号

发明内容

[0008] 发明要解决的课题

[0009] 但例如在用平视显示器实现头戴显示器中利用的光瞳扩展型全息图的情况下,能看到像的视野范围窄。

[0010] 本公开的目的在于,提供扩大了能看到像的视野范围的光学系统以及平视显示器系统。

[0011] 用于解决课题的手段

[0012] 本公开的光学系统具备:出射被观察者视觉辨识为像的光束的显示部;和复制光束的导光体。导光体具有:来自显示部的光束入射的入射面;和光束从导光体出射的出射面。从显示部出射的光束的中心的光线入射到导光体的入射面。入射到导光体的入射面的光束通过导光体内的耦合区域的衍射构造所引起的衍射而变更行进方向。变更了行进方向的光束在通过导光体内的扩展区域的衍射构造所引起的衍射向与观察者所视觉辨识的像的水平方向对应的第1方向、或与像的垂直方向对应的第2方向、或这两个方向被复制从而扩展后,从出射面出射。将相对于扩展区域的中心或重心处的导光体的表面的法线方向设为Z轴方向,将切平面设为XY平面,在XY平面,在将入射到扩展区域的光束的中心光线的行进方向设为X轴、将与X轴垂直的方向设为Y轴时,扩展区域的衍射构造形成为将入射到扩展区域的光束在从Z轴的正的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束、和在从Z轴的负的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束收容在能视觉辨识像的视野角内,扩展区域的衍射构造相对于Z轴方向倾斜。

[0013] 此外,本公开的平视显示器系统具备:上述的光学系统;和从导光体出射的光束反射的透光构件,在经由透光构件能视觉辨识的实景将像作为虚像而重叠地进行显示。

[0014] 发明的效果

[0015] 根据本公开的光学系统以及平视显示器系统,能扩大能看到像的视野范围。

附图说明

[0016] 图1是表示导光体的结构的概略立体图。

[0017] 图2是表示向头戴显示器的导光体的入射光和出射光的方向的说明图。

[0018] 图3是表示向平视显示器的导光体的入射光和出射光的方向的说明图。

[0019] 图4是搭载实施方式的平视显示器系统的车辆的YZ面截面图。

[0020] 图5A是表示从显示部出射的光束的光路的说明图。

[0021] 图5B是表示虚像的水平方向的视野区域的说明图。

[0022] 图5C是表示虚像的垂直方向的视野区域的说明图。

[0023] 图6是表示实施方式中的导光体的结构的透视立体图。

[0024] 图7是表示从显示部出射的光束的中心的光路的说明图。

[0025] 图8是第1扩展区域的俯视图。

[0026] 图9是图8的IX-IX箭头方向观察截面图。

[0027] 图10是第1扩展区域的俯视图。

[0028] 图11是表示入射到衍射构造的光束和被复制的光束的说明图。

[0029] 图12是表示各实施例和比较例中的数值的表。

[0030] 图13是表示实施例1的虚像的视野区域的说明图。

[0031] 图14是表示比较例1的虚像的视野区域的说明图。

[0032] 图15是表示实施例2的虚像的视野区域的说明图。

[0033] 图16是表示实施例3的虚像的视野区域的说明图。

[0034] 图17是表示实施例4的虚像的视野区域的说明图。

[0035] 图18是表示实施例5的虚像的视野区域的说明图。

[0036] 图19是表示实施例6的虚像的视野区域的说明图。

[0037] 图20是表示实施例7的虚像的视野区域的说明图。

[0038] 图21是表示比较例2的虚像的视野区域的说明图。

[0039] 图22是表示视野角与归一化衍射效率的关系的图表。

[0040] 图23是表示视野角与归一化衍射效率的关系的图表。

具体实施方式

[0041] (本公开的概要)

[0042] 参考图1,首先来说明本公开的概要。图1是表示导光体13的结构的概略图。在头戴显示器(以下称作HMD)等中所用的光学系统中,使用所谓的光瞳扩展型的导光体13。光瞳扩展型的导光体13具备:入射来自显示部11的图像光并变更行进方向的耦合区域21;将向第1方向入射的光束进行扩展的第1扩展区域23;和将向第2方向入射的光束进行扩展的第2扩展区域25。第1方向和第2方向相互交叉,例如可以正交。

[0043] 耦合区域21、第1扩展区域23以及第2扩展区域25分别具有对图像光进行衍射的衍射光焦度,形成浮雕型全息图或体积型全息图。浮雕型全息图例如是衍射光栅。体积型全息

图例如是电介质膜内的周期性的折射率分布。耦合区域21将从外部入射的图像光的行进方向通过衍射光焦度变更为去向第1扩展区域23。

[0044] 第1扩展区域23例如配置衍射构造元件,通过将入射的图像光分割成通过衍射光焦度而在第1方向上行进的图像光和向第2扩展区域25行进的图像光来复制图像光。例如,在图1中,在第1扩展区域23中,在图像光重复全反射而行进的方向上排列的4个点23p配置衍射构造元件。在各个点23p,衍射构造元件将图像光分割,使分割的图像光向第2扩展区域25行进。由此,入射的图像光的光束通过在第1方向上被复制成4个图像光的光束而扩展。

[0045] 第2扩展区域25例如配置衍射构造元件,将入射的图像光分割成通过衍射光焦度而在第2方向上行进的图像光和从第2扩展区域25向外部出射的图像光,由此来复制图像光。例如,在图1中,在第2扩展区域25中,图像光重复全反射而行进的方向上排列的点25p关于1列配置3个,在4列中合计12个点25p分别配置衍射构造元件。在各个点25p,将图像光分割,使分割的图像光向外部出射。由此,在4列将入射的图像光的光束分别在第2方向上复制成3个图像光的光束,由此进行扩展。如此地,导光体13能从入射的1个图像光的光束复制12个图像光的光束,能向第1方向以及第2方向分别复制光束来扩展视野区域。观察者能从这12个图像光的光束将各个图像光的光束视觉辨识为虚像,能扩大观察者能视觉辨识图像光的视觉辨识区域。

[0046] 接下来,参考图2以及图3来说明光瞳扩展型的HM和平视显示器(以下称作HUD)的差异。图2是表示HMD的入射光和出射光的说明图。图3是表示HUD的入射光和出射光的说明图。

[0047] 如图2所示那样,HM中的导光体13中,观察者相对于能视觉辨识虚像的视觉辨识区域Ac大致正对。从显示部11垂直入射的图像光在导光体13内被分割,分割的图像光从导光体13的出射面27垂直地朝向视觉辨识区域Ac出射。

[0048] 与此相对,如图3所示那样,在HUD的情况下,由于使从导光体13出射的图像光例如在挡风玻璃5反射并入射到视觉辨识区域Ac,因此,使分割的影像光从导光体13的出射面27向斜向方向出射。以下,说明HUD用的光学系统。

[0049] (实施方式)

[0050] 以下,参考图4～图6来说明实施方式。另外,对具有与上述的构成要素共通的功能的构成要素标注相同的附图标记。此外,图中的挡风玻璃的倾斜角度分别为了易于理解而示出,根据图有时会不同。

[0051] [1-1.结构]

[0052] [1-1-1.光学系统以及平视显示器系统的整体结构]

[0053] 说明本公开的平视显示器系统1(以下称作HUD系统1)的具体的实施方式。图4是表示搭载本公开所涉及的HUD系统1的车辆3的截面的图。图5A是表示从显示部出射的光束的光路的说明图。在实施方式中,以搭载于车辆3的HUD系统1为例来进行说明。

[0054] 在以下,基于图4所示的X1轴、Y1轴以及Z1轴来说明与HUD系统1相关的方向。Z1轴方向是观察者从观察者能视觉辨识虚像Iv的视觉辨识区域Ac视觉辨识虚像Iv的方向。Z1轴方向是与Z1轴正交的水平方向。Y1轴方向是与由X1轴以及Z1轴形成的X1Z1面正交的方向。因此,X1轴方向与车辆3的水平方向对应,Y1轴方向与车辆3的大致铅垂方向对应,Z1轴方向与车辆3的大致前进方向对应。

[0055] 如图4所示那样,在车辆3的挡风玻璃5的下方的仪表板(图示省略)的内部配置有光学系统2。坐在车辆3的驾驶席的观察者D将从HUD系统1投射的图像识别为虚像Iv。如此地,HUD系统1在能经由挡风玻璃5视觉辨识的实景重叠虚像Iv来进行显示。由于将所复制的多个图像投射到视觉辨识区域Ac,因此,只要是视觉辨识区域Ac中,则即使观察者D的眼的位置在Y1轴方向以及X1轴方向上偏离,也能视觉辨识虚像Iv。另外,关于观察者D进行视觉辨识的虚像Iv的范围,在图5B示出表示观察者D进行视觉辨识的虚像Iv的水平方向的视野角的角度θh,在图5C示出表示虚像Iv的垂直方向的视野角的角度θv。另外,观察者D如车辆3那样是在移动体内搭乘的搭乘者,例如是驾驶者或坐在副驾驶席的搭乘者。

[0056] 参考图4。HUD系统1具备光学系统2和挡风玻璃5。光学系统2具备显示部11、导光体13以及控制部15。显示部11出射形成被观察者视觉辨识为虚像Iv的图像的光束L1。导光体13将从显示部11出射的光束L1分割复制,将复制的光束L2向挡风玻璃5引导。在挡风玻璃5反射的光束L2作为虚像Iv而重叠显示在能经由挡风玻璃5视觉辨识的实景。

[0057] 显示部11基于外部的控制部的控制来显示图像。作为显示部11,例如能使用带背光灯的液晶显示装置(Liquid Crystal Display)、有机发光二极管(Organic Light-Emitting Diode)显示器、等离子显示器等。此外,也可以作为显示部11而使用将光扩散或反射的屏幕、投影仪、扫描型激光器来生成图像。显示部11能显示道路行进引导显示、包括到前方车辆的距离、车的蓄电池剩余电量、当前的车速等各种信息的图像内容。如此地,显示部11出射包含被观察者D视觉辨识为虚像Iv的图像内容在内的光束L1。

[0058] 控制部15能利用由半导体元件等构成的电路来实现。控制部15例如能由微机、CPU、MPU、GPU、DSP、FPGA或ASIC构成。控制部15通过将存放于内置的存储部(图示省略)的数据、程序读出并进行种种运算处理,来实现预先确定的功能。此外,控制部15具备存储装置17。

[0059] 存储装置17是存储为了实现控制部15的功能所需的程序以及数据的存储介质。存储装置17例如能通过硬盘(HDD)、SSD、RAM、DRAM、铁电存储器、闪速存储器、磁盘或它们的组合来实现。在存储装置17中存放表征虚像Iv的多个图像数据。控制部15基于从外部取得的车辆关联信息来决定所显示的虚像Iv。控制部15将所决定的虚像Iv的图像数据从存储部读出并输出到显示部11。

[0060] [1-1-2.导光体]

[0061] 参考图6来说明导光体13的结构。图6是表示导光体13的结构的透视立体图。以下基于图6所示的Z轴、Y轴以及Z轴来说明与导光体13的扩展区域相关的方向。将相对于第1扩展区域23的中心或重心处的导光体13的表面的法线方向设为Z轴方向,将切平面设为XY平面。在XY平面中,将入射到第1扩展区域23的光束的中心光线的行进方向设为X轴方向,将与X轴方向垂直的方向设为Y轴方向。同样地,将相对于第2扩展区域25的中心或重心处的导光体13的表面的法线方向设为Za轴方向,将切平面设为XaYa平面。在XaYa平面中,将入射到第2扩展区域的光束的中心光线的行进方向设为Xa轴方向,将与Xa轴方向垂直的方向设为Ya轴方向。

[0062] 导光体13具有第1主面13a以及第2主面13b。第1主面13a和第2主面13b对置。导光体13具有入射面20、耦合区域21、第1扩展区域23、第2扩展区域25以及出射面27。入射面20、耦合区域21、第1扩展区域23以及第2扩展区域25包括在第2主面13b中,出射面27包括在第1

主面13a中。出射面27与第2扩展区域25对置。另外,耦合区域21、第1扩展区域23以及第2扩展区域25可以存在于第1主面13a与第2主面13b之间。第1主面13a与挡风玻璃5对置。在本实施方式中,入射面20包括在耦合区域21中,但也可以包括在与耦合区域21对置的面即第1主面13a中。此外,出射面27也可以包括在第2扩展区域25中。

[0063] 耦合区域21、第1扩展区域23以及第2扩展区域25分别具有不同的衍射光焦度,分别形成衍射构造元件。耦合区域21、第1扩展区域23以及第2扩展区域25的图像光的衍射角度分别不同。此外,导光体13是所入射的光束在内部进行全反射的结构。导光体13例如由表面被镜面加工的玻璃、树脂制的板构成。导光体13并不限于平面形状,也可以是曲面形状。如此地,导光体13包含部分地将光衍射的、例如体积型全息图等衍射构造元件。耦合区域21、第1扩展区域23以及第2扩展区域25在包含体积型全息图的情况下成为立体区域。

[0064] 耦合区域21是将由显示部11出射的光束L1从入射面20入射并变更光束L1的行进方向的区域。耦合区域21具有衍射光焦度,将入射的光束L1的传播的方向向第1扩展区域23的方向变更,作为光束L1A而出射。在本实施方式中,所谓耦合,是以全反射条件在导光体13内传播的状态。

[0065] 第1扩展区域23在与虚像Iv的水平方向对应的第1方向上将光束L1A扩展,并出射到位于与第1方向交叉的第2方向的第2扩展区域。在向第1方向扩展光束L1A的第1扩展区域23中,第1方向的长度比第2方向的长度大。另外,在实施方式中,导光体13配置成第1方向成为水平方向(X1轴的方向),但并不限于此,也可以第1方向不与水平方向完全一致。从耦合区域21传播的光束L1A在第1主面13a以及第2主面13b重复全反射的同时向第1方向传播,并且通过形成于第2主面13b的第1扩展区域23的衍射构造将光束L1复制,并出射到第2扩展区域25。

[0066] 第2扩展区域25向与虚像Iv的垂直方向对应的第2方向扩展光束L1B,并从出射面27出射被扩展了的光束L2。第2方向例如与第1方向垂直。另外,导光体13将第2方向配置在Z1轴方向上。从第1扩展区域23传播的光束L1B在第1主面13a以及第2主面13b重复全反射的同时向第2方向传播,并且通过形成于第2主面13b的第2扩展区域25的衍射构造将光束L1B复制,并经由出射面27向导光体13的外部出射。

[0067] 因此,从观察者D的视点来看,导光体13通过将入射到入射面20而行进方向被变更的光束L1向观察者D所视觉辨识的虚像Iv的水平方向(X1轴的方向)进行复制而扩展后,进一步通过向虚像Iv的垂直方向(Y1轴的方向)进行复制而扩展,并从出射面27出射光束L2。在此,所谓向像的水平方向复制,并不限于仅向完全的水平方向进行复制,还包含向大致水平方向进行复制。此外,所谓向像的垂直方向进行复制,并不限于仅向完全的垂直方向进行复制,还包含向大致垂直方向进行复制。

[0068] [1-1-3,光瞳扩展的顺序]

[0069] 在上述的配置的导光体13中,在HUD系统1中,根据图像光的光束L1的光瞳扩展的顺序而第1扩展区域23和第2扩展区域25的波数向量的大小不同。参考图7来说明实施方式的光瞳扩展的顺序。图7是表示从显示部出射的光束的中心的光路的说明图。

[0070] 入射到导光体13的图像光的光束L1通过形成于耦合区域21的衍射构造,作为第1方向而向在水平方向(X轴方向)进行光瞳扩展的第1扩展区域23变更传播方向。因此,光束L1在斜向入射到耦合区域21后,受到图7所示的波数向量k1的作用而作为光束L1A向第1扩

展区域23的方向进行传播。

[0071] 向在第1方向延伸的第1扩展区域23传播的光束L1A重复全反射的同时,通过形成于第1扩展区域23的衍射构造被分割成向第1方向传播的光束L1A和被复制而向第2扩展区域25变更传播方向的光束L1B。这时,复制的光束L1B受到图7所示的波数向量k2的作用而向第2扩展区域25的方向传播。

[0072] 作为第2方向而向沿着Z1轴的负的方向延伸的第2扩展区域25变更了传播方向的光束L1B通过形成于第2扩展区域25的衍射构造而被分割成向第2方向传播的光束L1B、和被复制而从第2扩展区域25经由出射面27向导光体13的外部出射的光束L2。这时,复制的光束L2受到图7所示的波数向量k3的作用而向出射面27的方向传播。

[0073] [1-1-4.衍射构造]

[0074] 接下来,参考图8以及图9来说明第1扩展区域23的衍射构造。图8是第1扩展区域23的俯视图,图9是图8的IX-IX箭头方向观察截面图。

[0075] 在第1扩展区域23的衍射构造是例如体积型全息图的情况下,第1扩展区域23形成干涉条纹31作为衍射构造。在第1扩展区域23,将XY面中的干涉条纹31所延伸的方向与光束L1A的行进方向之间的角度设为α。此外,在衍射构造的垂直方向的截面观察、即图8的IX-IX箭头方向截面观察中,将相对于干涉条纹31的垂直方向的倾斜角度设为β。

[0076] 如图10所示那样,向在第1方向延伸的第1扩展区域23传播的光束L1A重复全反射的同时,通过形成于第1扩展区域23的衍射构造而被分割成向第1方向传播的光束L1A、和被复制并向第2扩展区域25变更传播方向的光束L1B。

[0077] 图11以球面坐标系表示光束L1A从Z轴的负的方向向正的方向透射第1扩展区域23的XY平面的情况下被复制的光束L1B。在将观察者D所看到的虚像Iv的视野角设为±F度,将光束L1A的中心光线的相对于Z轴的角度设为θA度,将光束L1B的中心光线的相对于Z轴的角度设为θB度时,满足以下的式(1)以及式(2)。

[0078] $|\theta A-\theta B|<|F|/2$…式(1)

[0079] $|\beta|\times 2\times\cos(\alpha)\leq|F|-|\theta A-\theta B|$…式(2)

[0080] 其中$\beta\neq 0$。

[0081] 关于虚像Iv的水平方向的视野角为$2\times|F|=\theta h$,关于虚像Iv的垂直方向的视野角为$2\times|F|=\theta v$(参考图5B、图5C)。以下,说明水平方向的视野角,但关于垂直方向的视野角,也成立同样的关系。

[0082] 通过式(1)中的$|\theta A-\theta B|$,来决定沿着Z轴从正的方向向负的方向透射时的衍射效率与从负的方向向正的方向透射时的衍射效率的2个峰值的中央。此外,通过式(2)中的$|\beta|\times 2\times\cos(\alpha)$,来决定沿着Z轴从正的方向向负的方向透射时的衍射效率与从负的方向向正的方向透射时的衍射效率的2个峰值的分离量。在$\beta=0$的情况下,由于光束L1A从Z轴的正的方向向负的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B和从Z轴的负的方向向正的方向透射时被复制的光束L1B成为相同的衍射效率,因此,水平方向的视角不再扩大。反之,在$\beta\neq 0$的情况下,由于光束L1A从Z轴的正的方向向负的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B和从Z轴的负的方向向正的方向透射时被复制的光束L1B成为不同的衍射效率,因此,能扩大水平方向的视角。

[0083] 接下来,参考图12～图21来说明各实施例和比较例。图12是各实施例和比较例中

的各个参数的表。图13～图21表示各实施例以及比较例中的视野角中的衍射效率。图13的(a)～图21的(a)表示在各个条件下光束L1A从Z轴的负的方向向正的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率。图13的(b)～图21的(b)表示在各个条件下光束L1A从Z轴的正的方向向负的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率。在各实施例以及比较例中,体积型全息图的厚度为5μm。

[0084] 在实施例1～比较例2中,视野角F全都是3.50度。实施例1～比较例2中的视野角F表示水平方向(左右方向)的视角(横视角)。另外,关于垂直方向的视角(纵视角)也成立同样的关系。在图13所示的实施例1的情况下,与式(1)以及式(2)关联地分别说明的角度θA以及角度θB是50.00度,角度α是45.00度,倾斜角度β是1.24度。图13的(c)表示在第1扩展区域23中相对于Z轴进行一次往返的光束L1B的衍射效率。即,图13的(c)表示将从Z轴的负的方向向正的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率、和从Z轴的正的方向向负的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率加起来的衍射效率。衍射效率阶段地示出为等级A1～A5,随着从等级A1向A4提高而衍射效率上升。等级A1表示0％以上且不足10％的衍射效率,等级A2表示10％以上且不足20％的衍射效率,等级A3表示20％以上且不足30％的衍射效率,等级A4表示30％以上且不足40％的衍射效率。

[0085] 根据实施例1,由于β≠0,满足式(1)以及式(2),因此,如图13的(a)以及(b)所示那样,衍射效率的峰值分为视角的左右而存在,能在宽的范围得到高的衍射效率。由此,能得到视角扩大的效果。

[0086] 与此相对,在图14所示的比较例1的情况下,角度θA以及角度θB为50.00度,角度α为45.00度,倾斜角度β为0度。由于β＝0,因此,由于不管在从Z轴的正的方向透射第1扩展区域23的情况下,还是在从负的方向透射第1扩展区域23的情况下,视野角内的各个衍射效率的峰值的位置都成为相同位置,因此,即使中心部的衍射效率良好,也不能得到视角扩大的效果。

[0087] 在图15所示的实施例2的情况下,角度θA为49.00度,角度θB为50.00度,角度α为44.57度,倾斜角度β为0.71度。根据实施例2,β≠0,满足式(1)以及式(2)。如图15的(a)所示那样,从Z轴的负的方向向正的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率在视角的中心变高。此外,如图15的(b)所示那样,从Z轴的正的方向向负的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率在视角的右侧变高。如此地,由于各个衍射效率的峰值位置分离,因此,能得到视角扩大的效果。

[0088] 在图16所示的实施例3的情况下,角度θA为59.00度,角度θB为60.00度,角度α为44.71度,倾斜角度β为0.71度。根据实施例3,β≠0,满足式(1)以及式(2)。在图16的(a)中,等级A1a表示0％以上且不足5％的衍射效率,等级A1b表示5％以上且不足10％的衍射效率,等级A2a表示10％以上且不足15％的衍射效率,等级A2b表示15％以上且不足20％的衍射效率,等级A3a表示20％以上且不足25％的衍射效率。如图16的(a)所示那样,从Z轴的负的方向向正的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率在视角的中心变高。此外,如图16的(b)所示那样,从Z轴的正的方向向负的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率在视角的右侧变高。如此地,由于各个衍射效率的峰值位置分离,因此,能得到视角扩大的效果。

[0089] 在图17所示的实施例4的情况下,角度θA为59.00度,角度θB为58.50度,角度α为

50.76度,倾斜角度β为-0.32度。根据实施例4,β≠0,满足式(1)以及式(2)。如图17的(a)所示那样,从Z轴的负的方向向正的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率在视角的中心变高。此外,如图17的(b)所示那样,从Z轴的正的方向向负的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率在视角的左侧变高。如此地,由于各个衍射效率的峰值位置分离,因此,能得到视角扩大的效果。

[0090] 在图18所示的实施例5的情况下,角度θA为59.00度,角度θB为59.55度,角度α为34.85度,倾斜角度β为0.48度。根据角度实施例5,β≠0,满足式(1)以及式(2)。在图18中,等级A5表示40%以上且不足50%的衍射效率。如图18的(a)所示那样,从Z轴的负的方向向正的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率在视角的中心变高。此外,如图18的(b)所示那样,从Z轴的正的方向向负的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的衍射效率在视角的右侧变高。如此地,由于各个衍射效率的峰值位置分离,因此,能得到视角扩大的效果。

[0091] 在图19所示的实施例6的情况下,角度θA为50.00度,角度θB为46.00度,角度α是46.80度,倾斜角度β为-2.83度。在图19,等级A1c表示0%以上且不足2%的衍射效率,等级A1d表示2%以上且不足4%的衍射效率,等级A1e表示4%以上且不足6%的衍射效率,等级A1f表示6%以上且不足8%的衍射效率,等级A1g表示8%以上且不足10%的衍射效率。根据实施例6,β≠0,但不满足式(1)以及式(2)。因此,如图19的(a)、(b)所示那样,在从Z轴的正的方向透射第1扩展区域23的情况下和在从负的方向透射第1扩展区域23的情况下,由于视野角内的各个衍射效率的峰值的位置成为不同的位置,因此,能得到视角扩大的效果。但由于不满足式(1)以及式(2),因此,在比视角更外方有衍射效率的峰值,如图19的(b)所示那样,从Z轴的正的方向向负的方向透射第1扩展区域23时复制的光束L1B的视角内的衍射效率低,与实施例1～5相比,视角的扩大效果小。

[0092] 在图20所示的实施例7的情况下,角度θA是50.00度,角度θB为53.00度,角度α为43.81度,倾斜角度β为2.12度。根据实施例7,β≠0,但不满足式(1)以及式(2)。因此,如图20的(a)、(b)所示那样,在从Z轴的正的方向透射第1扩展区域23的情况下和在从负的方向透射第1扩展区域23的情况下,由于视野角内的各个衍射效率的峰值的位置成为不同的位置,因此,能得到视角扩大的效果。但由于不满足式(1)以及式(2),因此,如图20的(b)所示那样,从Z轴的正的方向向负的方向透射第1扩展区域23时被复制的光束L1B的视角内的衍射效率低,与实施例1～5相比,视角的扩大效果小。

[0093] 在图21所示的比较例2的情况下,角度θA以及θB为59.00度,角度α为52.97度,倾斜角度β为0度。虽然α的值与比较例1不同,但由于与比较例1同样地为β＝0,因此,不管在从Z轴的正的方向透射第1扩展区域23的情况下,还是在从负的方向透射第1扩展区域23的情况下,视野角内的各个衍射效率的峰值的位置都成为相同位置,因此,即使中心部的衍射效率良好,也不能得到视角扩大的效果。

[0094] 此外,即使是图9所示的体积全息图的Z方向的厚度T和波长λ[μm]的光束L1A满足以下的关系式的情况,也通过本实施方式而衍射效率提升。

[0095] $T>(-2.3576\times\lambda+0.0952)\times|F|+(22.3540\times\lambda-0.9125)$…式(3)

[0096] 图22是表示(3)式的厚度T为下限附近的被归一化的衍射效率的一例的图表。若厚度T成为比式(3)的右边的值大的值,则在视野角的范围内,衍射效率也有时成为零。由此,

虽然影像一部分缺失而品质变差,但通过本实施方式,衍射效率提升,因此,能采用满足式(3)的关系的体积全息图的厚度。

[0097] 此外,即使是图9所示的体积全息图的Z方向的厚度T和波长λ[μm]的光束L1A满足以下的关系式的情况,也通过本实施方式而衍射效率提升。

[0098] $T<(-3.8645\times\lambda-0.2185)\times|F|+(37.4910\times\lambda+1.5298)$…式(4)

[0099] 图23是表示式(4)的厚度T为上限附近的被归一化的衍射效率的一例的图表。若厚度T成为比式(4)的右边的值小的值,则在视野角的一半的范围内,衍射效率成为零以上。由此,若厚度T成为式(4)的右边的值以上的值,则虽然衍射效率成为零以上的范围过于变窄,但在不足式(4)的右边的值的范围中,通过本实施方式而衍射效率提升,因此,能在视野角的范围所有区域显示影像。

[0100] 另外,在本实施方式中,第2扩展区域25也具有与第1扩展区域23的衍射构造同样的构造。关于这样的构造,也可以仅具有第1扩展区域23和第2扩展区域25的任一个扩展区域,也可以光学系统2还具备其他扩展区域,该其他扩展区域具有这样的衍射构造。此外,也可以在1个扩展区域实现第1扩展区域23和第2扩展区域25的功能,该1个扩展区域例如通过具有二维形状的干涉条纹,能将入射的光束向水平方向以及垂直方向进行复制。

[0101] [1-2.效果等]

[0102] 本公开的光学系统2具备:出射被观察者D视觉辨识为虚像Iv的光束L1的显示部11;和复制光束L1的导光体13。导光体13具有:来自显示部11的光束L1入射的入射面20;和光束L2从导光体13出射的出射面27。从显示部11出射的光束L1的中心的光线入射到导光体13的入射面20。入射到导光体13的入射面20的光束L1通过导光体13内的耦合区域的衍射构造所引起的衍射而变更行进方向。变更了行进方向的光束在通过导光体13内的扩展区域的衍射构造所引起的衍射向与观察者D所视觉辨识的虚像Iv的水平方向对应的第1方向、或与虚像Iv的垂直方向对应的第2方向、或这两个方向被复制而扩展后,从出射面27出射。将相对于扩展区域的中心或重心处的导光体13的表面的法线方向设为Z轴方向,将切平面设为XY平面,将入射到扩展区域的光束设为光束L1A,将在扩展区域进行衍射而出射的光束设为光束L1B,在XY平面,在将光束L1A的中心光线的行进方向设为X轴、将与X轴垂直的方向设为Y轴时,扩展区域的衍射构造形成为将光束L1A在从Z轴的正的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束L1B、和在从Z轴的负的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束L1B收容在能视觉辨识虚像的视野角内,扩展区域的衍射构造相对于Z轴方向倾斜。

[0103] 由于扩展区域的衍射构造相对于Z轴方向倾斜,因此,能将光束L1A在从Z轴的正的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束L1B和在从Z轴的负的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束L1B各自的衍射效率的峰值在视野角内形成在不同的位置。因此,能提供扩大了能看到虚像的视野范围的光学系统。

[0104] 此外,通过对车辆3的挡风玻璃5投射来自光学系统2的出射光,能显示适于驾驶车辆3的观察者D的虚像Iv。

[0105] (其他实施方式)

[0106] 如以上那样,在本申请中,作为公开的技术的例示,说明了上述实施方式。但本公开中的技术并不限定于此,能适宜运用于进行了变更、置换、附加、省略等的实施方式。为此,以下,例示其他实施方式。

[0107] 在上述实施方式中,扩展区域的衍射构造是干涉条纹,但并不限于此。例如,能将物理的凹凸构造用树脂填埋。

[0108] 在上述实施方式中,使进行了分割复制的光束L2在挡风玻璃5反射而使观察者D视觉辨识虚像Iv,但并不限于此。也可以取代挡风玻璃5而使用合束器(combiner),使合束器反射进行了分割复制的光束L2来使观察者D视觉辨识虚像Iv。

[0109] 在上述实施方式中,在第1扩展区域23扩展光束L1A的第1方向和在第2扩展区域25扩展光束L1B的第2方向相互正交,但并不限于此。如图6所示那样,在第1扩展区域23向第1方向扩展光束L1A,则相比于沿着Z轴的方向而向水平方向扩展的分量更大即可,此外,在第2扩展区域25中向第2方向扩展光束L1B,则相比于向水平方向扩展而向沿着Z轴的方向扩展的分量更大即可。

[0110] 在上述实施方式中,说明了将HUD系统1运用于汽车等车辆3的情况。但运用HUD系统1的对象物并不限于车辆3。运用HUD系统1的对象物例如可以是列车、摩托车、船舶或航空器,也可以是不伴随移动的娱乐设备。在娱乐设备的情况下,取代挡风玻璃5,在作为反射从显示部11出射的光束的透光构件的透明曲板反射来自显示部11的光束。此外,用户经由透明曲板能视觉辨识的实景也可以是从其他影像显示装置显示的影像。即,也可以在从其他影像显示装置显示的影像重叠HUD系统1的虚像来进行显示。如此地,作为本公开中的透光构件,可以采用挡风玻璃5、合束器以及透明曲板的任一者。

[0111] 在上述实施方式中,光学系统2用在显示虚像Iv的HUD系统1中,但并不限于此。光学系统2可以用在观察者不是经由透光构件观看虚像而是例如直接观察从出射面27出射的光束的图像显示系统中。在该情况下,观察者由于成为直接视觉辨识由出射的光束形成的图像的人,因此,并不限定于移动体的搭乘者。

[0112] (实施方式的概要)

[0113] (1)本公开的光学系统具备:出射被观察者视觉辨识为像的光束的显示部;和复制光束的导光体。导光体具有:来自显示部的光束入射的入射面;和光束从导光体出射的出射面。从显示部出射的光束的中心的光线入射到导光体的入射面。入射到导光体的入射面的光束通过导光体内的耦合区域的衍射构造所引起的衍射而变更行进方向。变更了行进方向的光束在通过导光体内的扩展区域的衍射构造所引起的衍射而向与观察者所视觉辨识的虚像的水平方向对应的第1方向、或与像的垂直方向对应的第2方向、或这两个方向被复制从而扩展后,从出射面出射。将相对于扩展区域的中心或重心处的导光体的表面的法线方向设为Z轴方向,将切平面设为XY平面,在XY平面,在将入射到扩展区域的光束的中心光线的行进方向设为X轴、将与X轴垂直的方向设为Y轴时,扩展区域的衍射构造形成为将入射到扩展区域的光束在从Z轴的正的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束和在从Z轴的负的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束收容在能视觉辨识像的视野角内,扩展区域的衍射构造相对于Z轴方向倾斜。

[0114] 由于扩展区域的衍射构造相对于Z轴方向倾斜,因此,能将入射到扩展区域的光束在从Z轴的正的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束和在从Z轴的负的方向透射扩展区域的XY平面的情况下被复制的光束各自的衍射效率的峰值在视野角内形成在不同的位置。因此,能提供扩大了能看到像的视野范围的光学系统。

[0115] (2)在(1)的光学系统中,在将观察者所看到的像的视野角设为±F度,将XY平面中

的扩展区域的衍射构造与入射到扩展区域的光束的行进方向之间的角度设为α度,将衍射构造与Z轴之间的倾斜角设为β度,将入射到扩展区域的光束的中心光线与Z轴之间的角度设为θA度,将在扩展区域中进行衍射而出射的光束的中心光线与Z轴之间的角度设为θB度时,满足以下的关系式。

[0116] $|\theta A-\theta B|<|F|/2$、且

[0117] $|\beta|\times 2\times\cos(\alpha)\leqslant|F|-|\theta A-\theta B|$

[0118] 其中$\beta\neq 0$

[0119] (3)在(2)的光学系统中,光学系统具有2个扩展区域,一方的扩展区域通过将入射到一方的扩展区域的光束向与观察者所视觉辨识的像的水平方向对应的第1方向进行复制,由此进行扩展,另一方的扩展区域通过将入射到另一方的扩展区域的光束向与观察者所视觉辨识的虚像的垂直方向对应的第2方向进行复制,由此进行扩展。

[0120] (4)在(3)的光学系统中,在2个扩展区域中,在衍射构造的衍射间距窄的一方的扩展区域,满足关系式。

[0121] (5)在(1)到(4)的任意1个光学系统中,扩展区域包含透射型体积全息图。

[0122] (6)在(5)的光学系统中,体积全息图的Z方向的厚度T和入射到体积全息图的光束的波长λ[μm]满足以下的关系式。

[0123] $T>(-2.3576\times\lambda+0.0952)\times|F|+(22,3540\times\lambda-0.9125)$

[0124] (7)在(5)或(6)的光学系统中,体积全息图的Z方向的厚度T和入射到体积全息图的光束的波长λ[μm]满足以下的关系式。

[0125] $T<(-3.8645\times\lambda-0.2185)\times|F|+(37.4910\times\lambda+1.5298)$

[0126] (8)在(1)到(7)的任意1个光学系统中,从显示部出射的光束的中心的光线相对于导光体的入射面的法线方向倾斜地入射,从导光体出射的光束的中心的光线相对于导光体的出射面的法线方向倾斜地朝向透光构件出射。

[0127] (9)本公开的平视显示器系统具备:(1)到(8)的任意1个光学系统;和从导光体出射的光束反射的透光构件,在经由透光构件能视觉辨识的实景将像作为虚像重叠地进行显示。

[0128] (10)在(9)的平视显示器系统中,透光构件是移动体的挡风玻璃。

[0129] 产业上的可利用性

[0130] 本公开能运用于复制像而进行显示的光学系统以及平视显示器系统。

[0131] 附图标记的说明

[0132] 1 平视显示器系统

[0133] 3 车辆

[0134] 3a 中心线

[0135] 5 挡风玻璃

[0136] 11 显示部

[0137] 13 导光体

[0138] 13a 第1主面

[0139] 13b 第2主面

[0140] 15 控制部

[0141] 17 存储装置

[0142] 20 入射面

[0143] 21 耦合区域

[0144] 23 第1扩展区域

[0145] 23a 点

[0146] 25 第2扩展区域

[0147] 25a 点

[0148] 27 出射面

[0149] Ac 视觉辨识区域

[0150] D 观察者

[0151] Iv 虚像

[0152] k1、k2、k3 波数向量

[0153] L1、L1A、L1B、L2 光束。

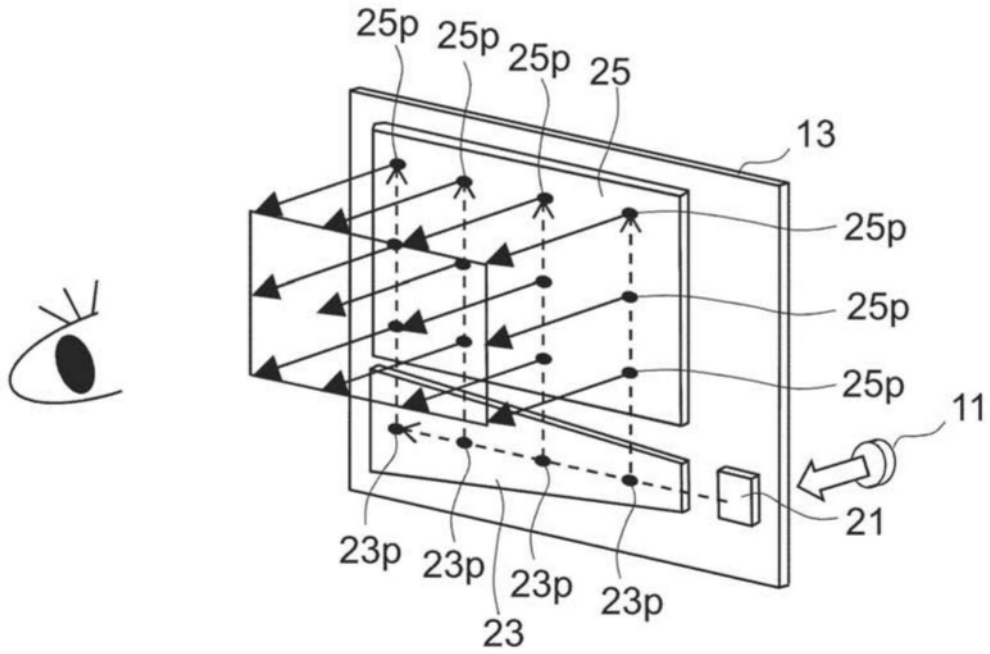


图1

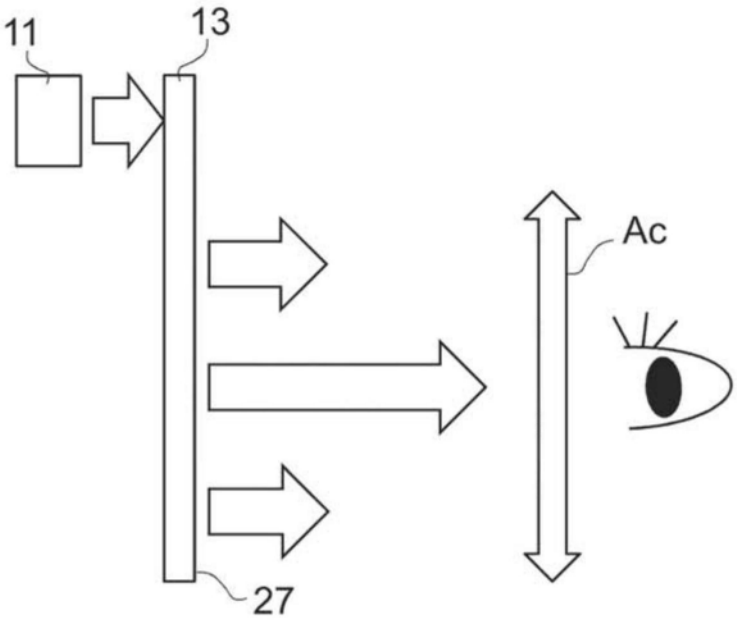


图2

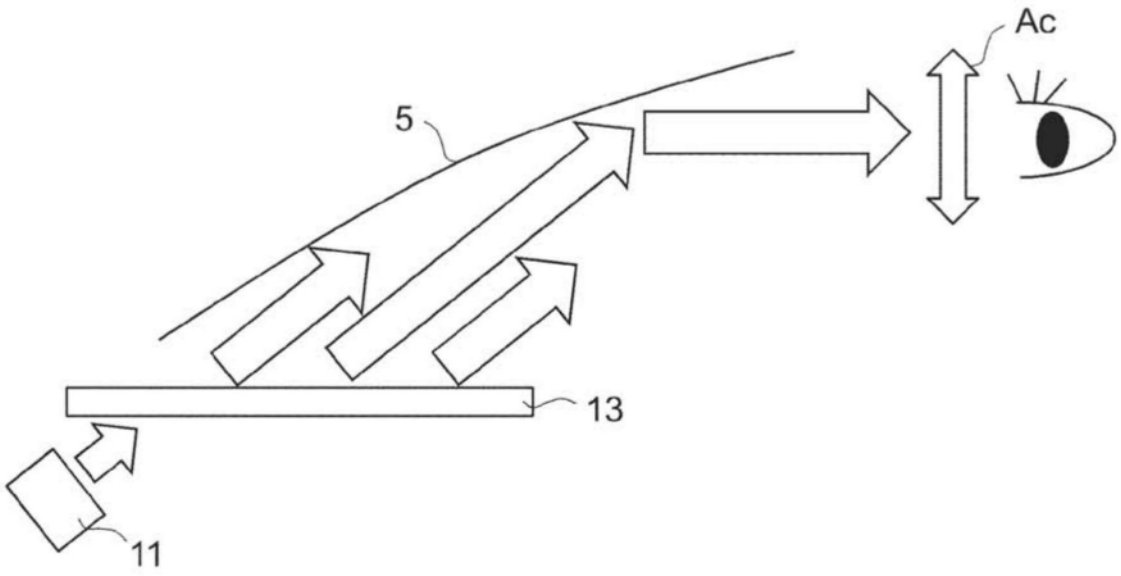


图3

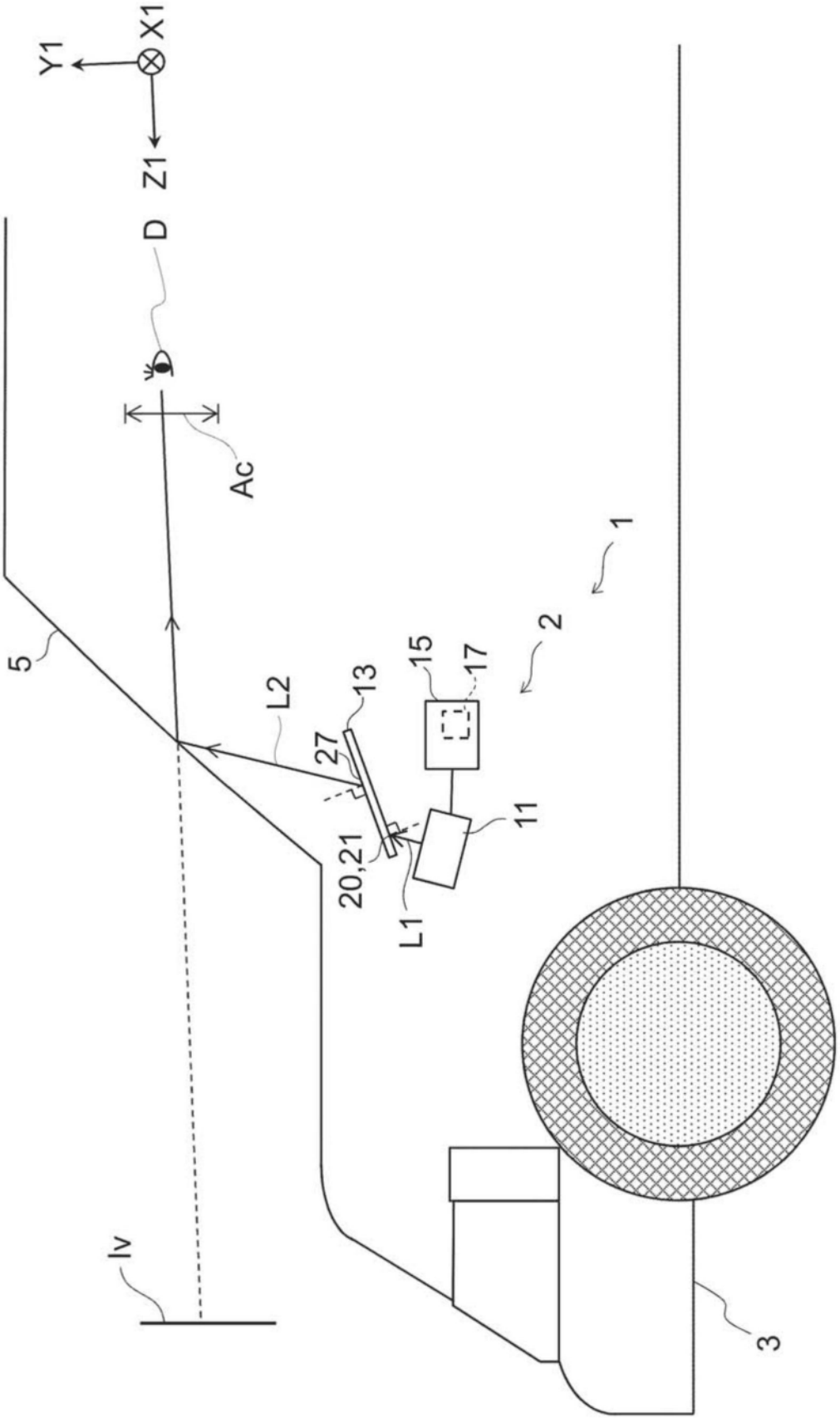


图4

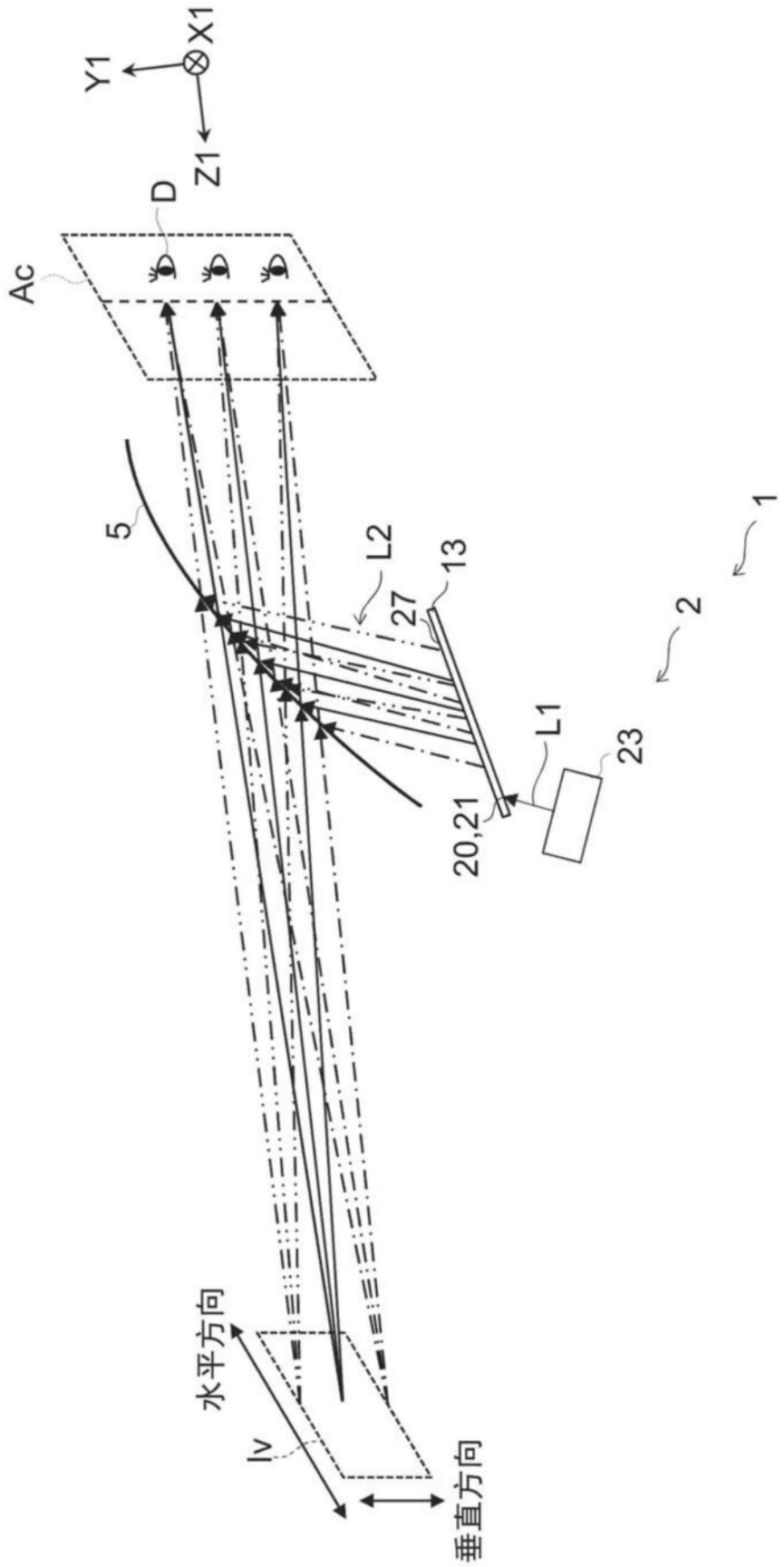


图5A

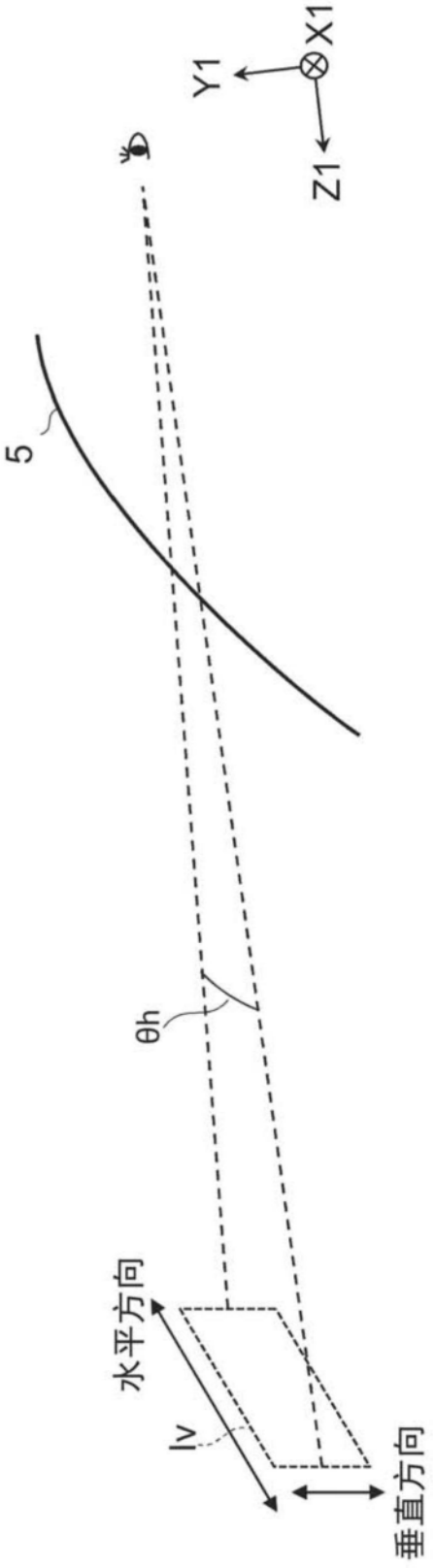


图5B

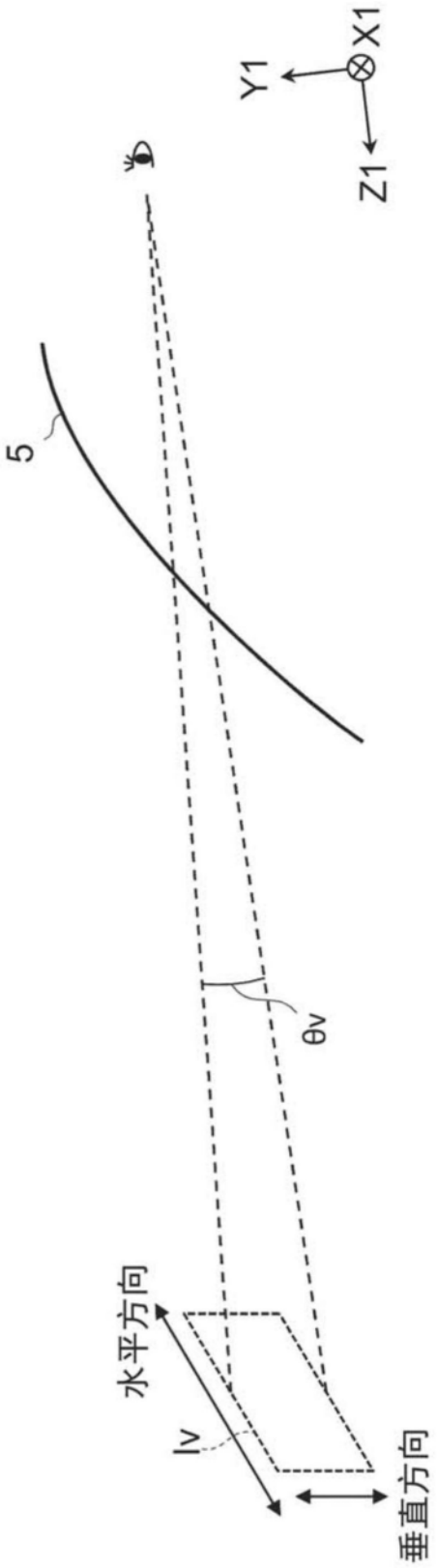


图5C

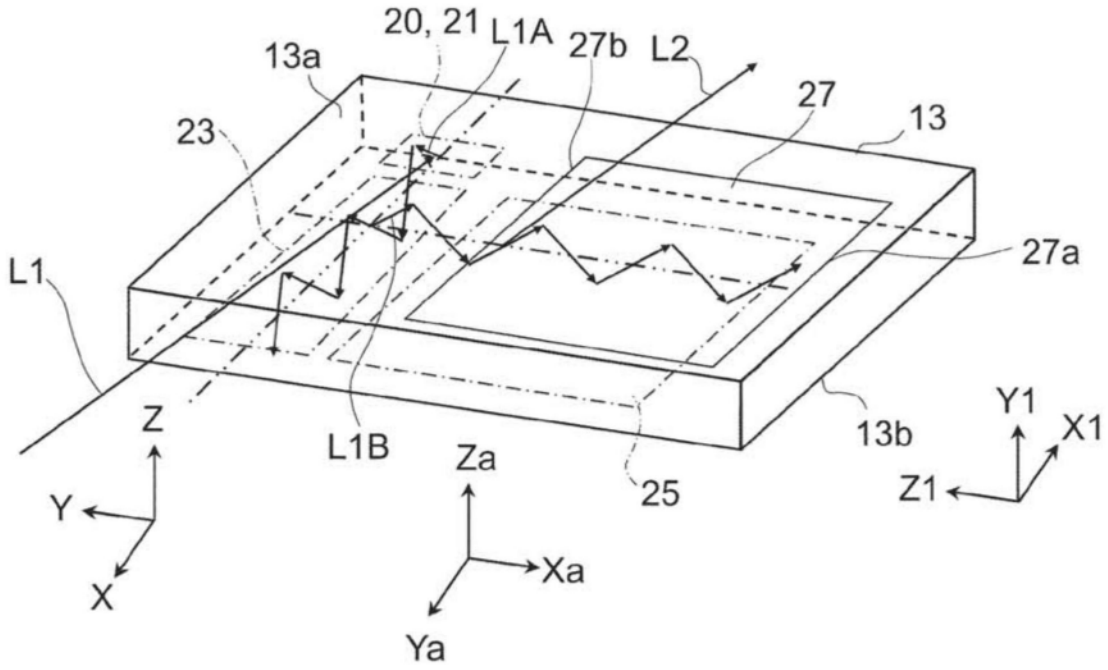


图6

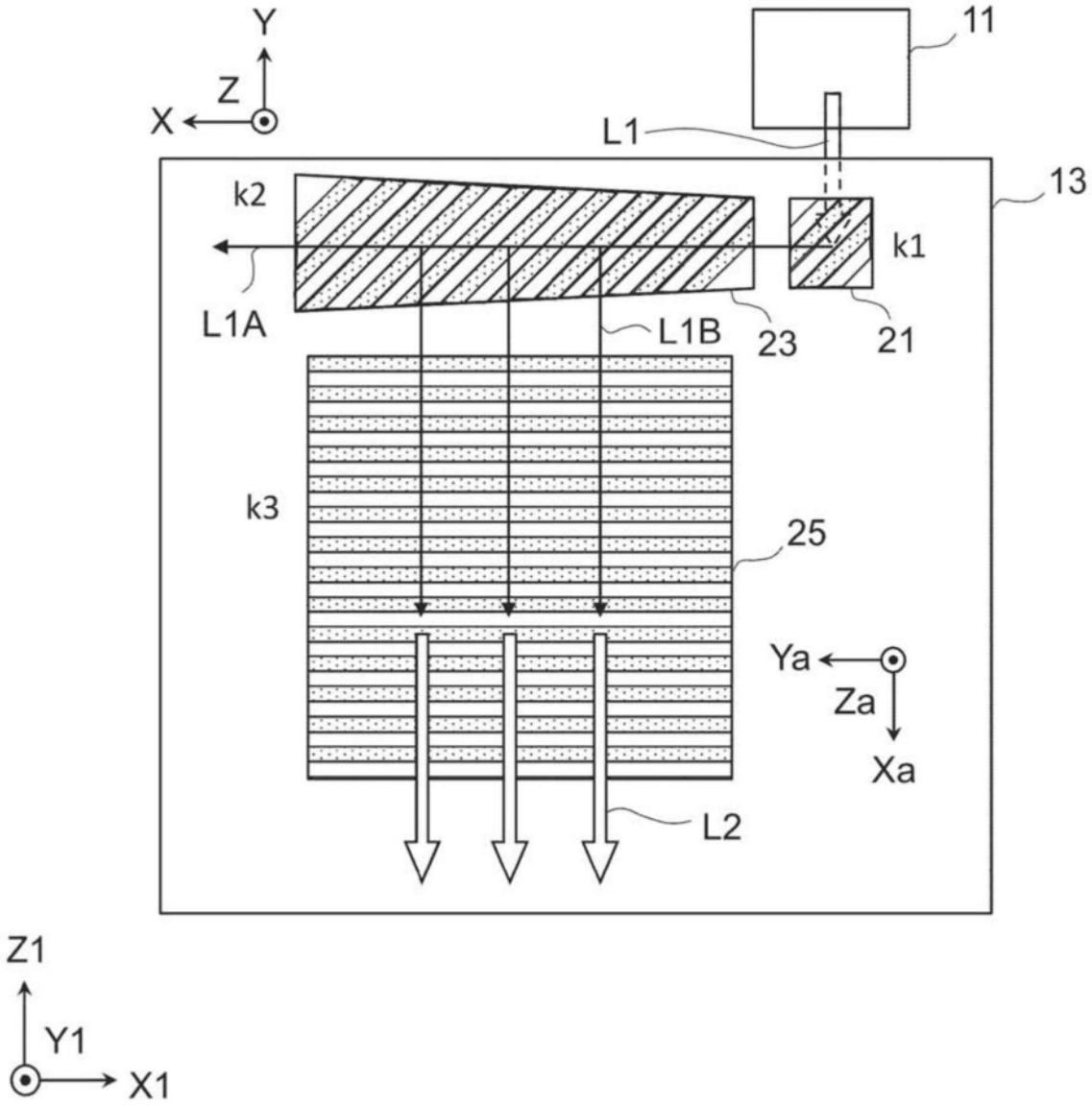


图7

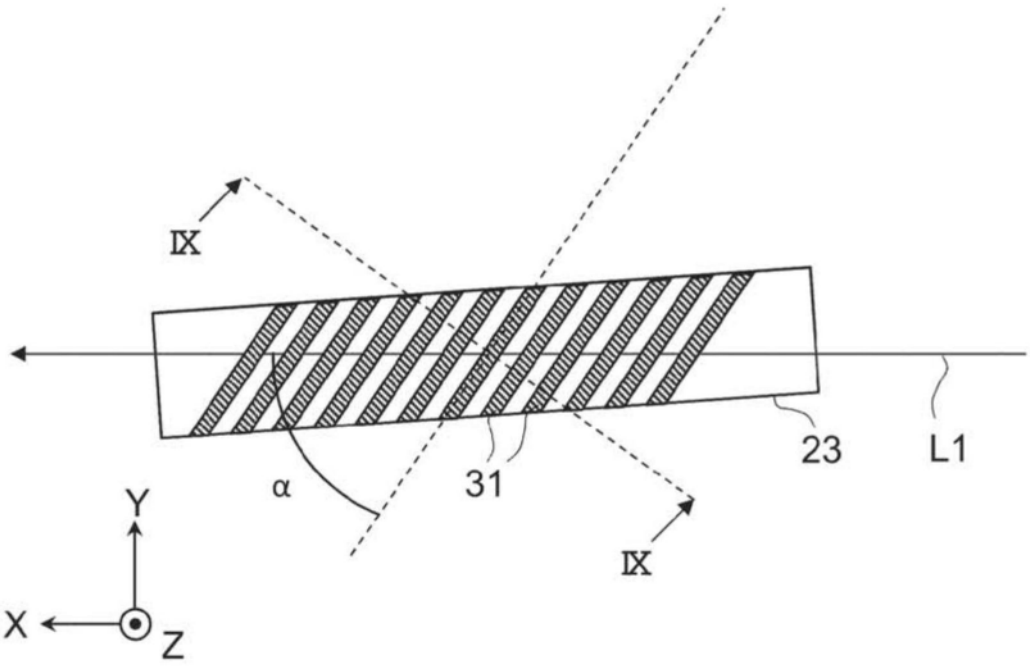


图8

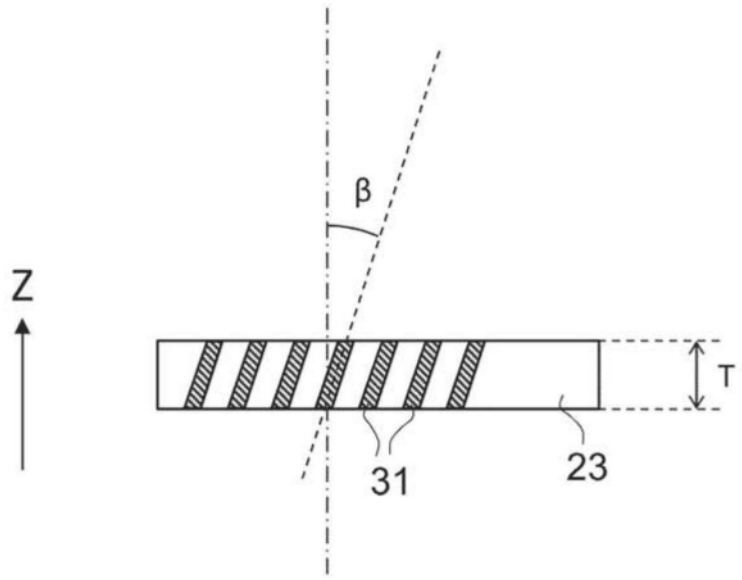


图9

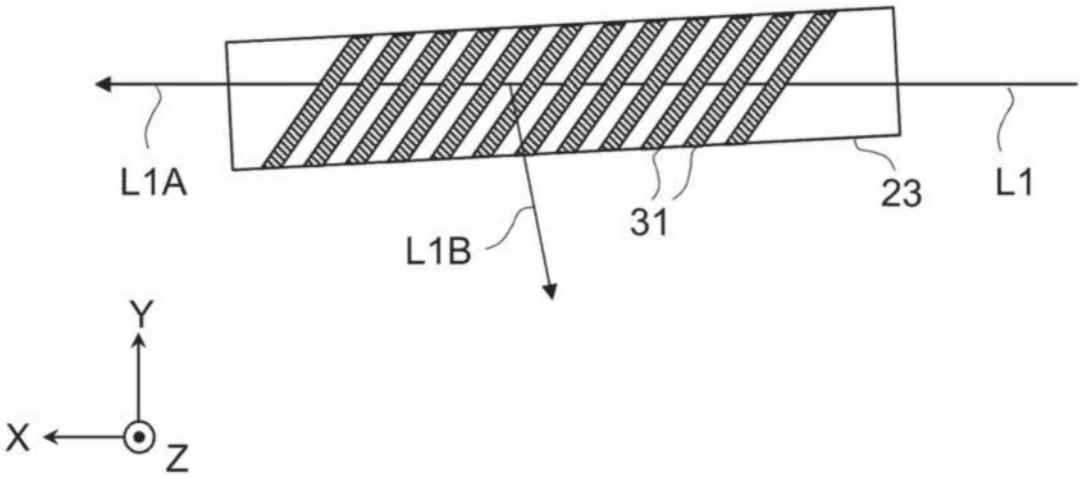


图10

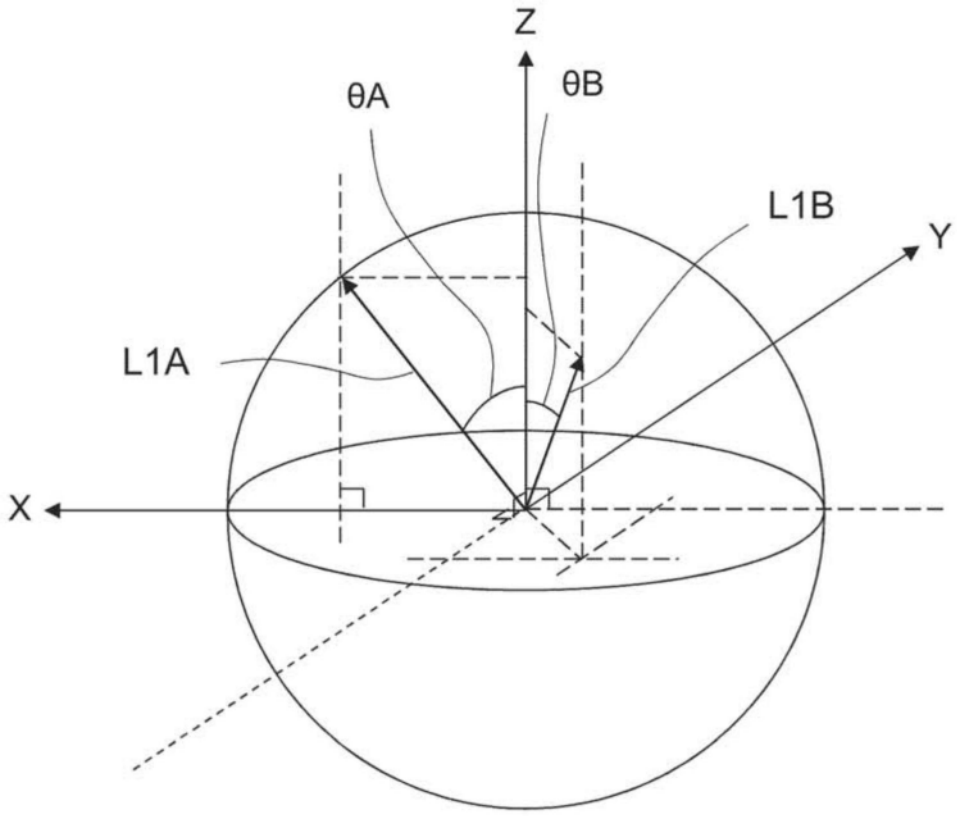


图11

	F[度]	θA[度]	θB[度]	α[度]	β[度]	|θA－θB|	|β|·cos(α)·2	效果
实施例 1	3.50	50.00	50.00	45.00	1.24	0.00	1.75	◎
比较例 1	3.50	50.00	50.00	45.00	0.00	0.00	0.00	—
实施例 2	3.50	49.00	50.00	44.57	0.71	1.00	1.01	◎
实施例 3	3.50	59.00	60.00	44.71	0.71	1.00	1.01	◎
实施例 4	3.50	59.00	58.50	50.76	-0.32	0.50	0.41	◎
实施例 5	3.50	59.00	59.55	34.85	0.48	0.55	0.79	◎
实施例 6	3.50	50.00	46.00	46.80	-2.83	4.00	3.87	○
实施例 7	3.50	50.00	53.00	43.81	2.12	3.00	3.06	○
比较例 2	3.50	59.00	59.00	52.97	0.00	0.00	0.00	—

图12

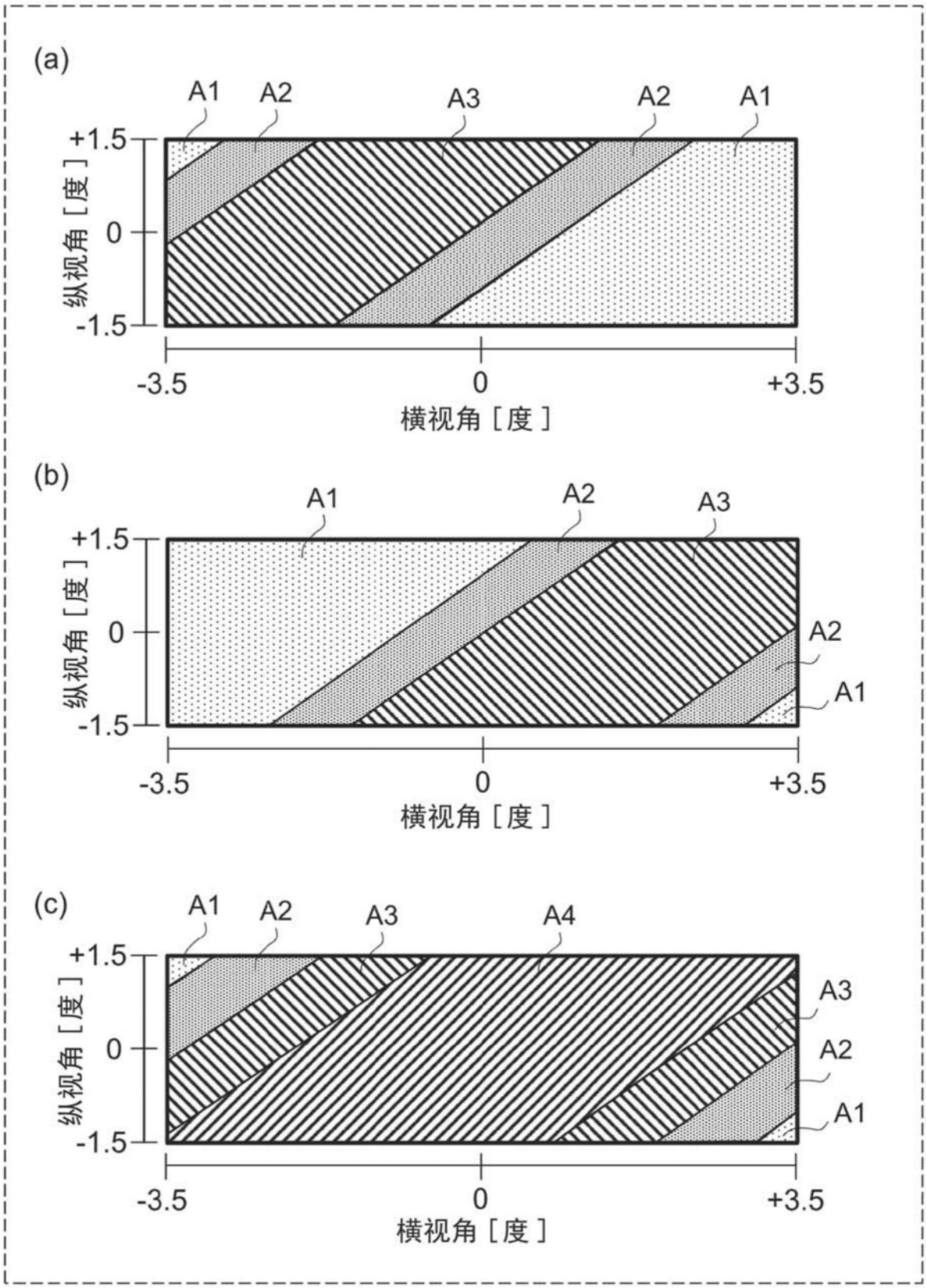

(a)
A1
A2
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］
(b)
A1
A2
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］
(c)
A1
A2
A3
A4
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］

图13

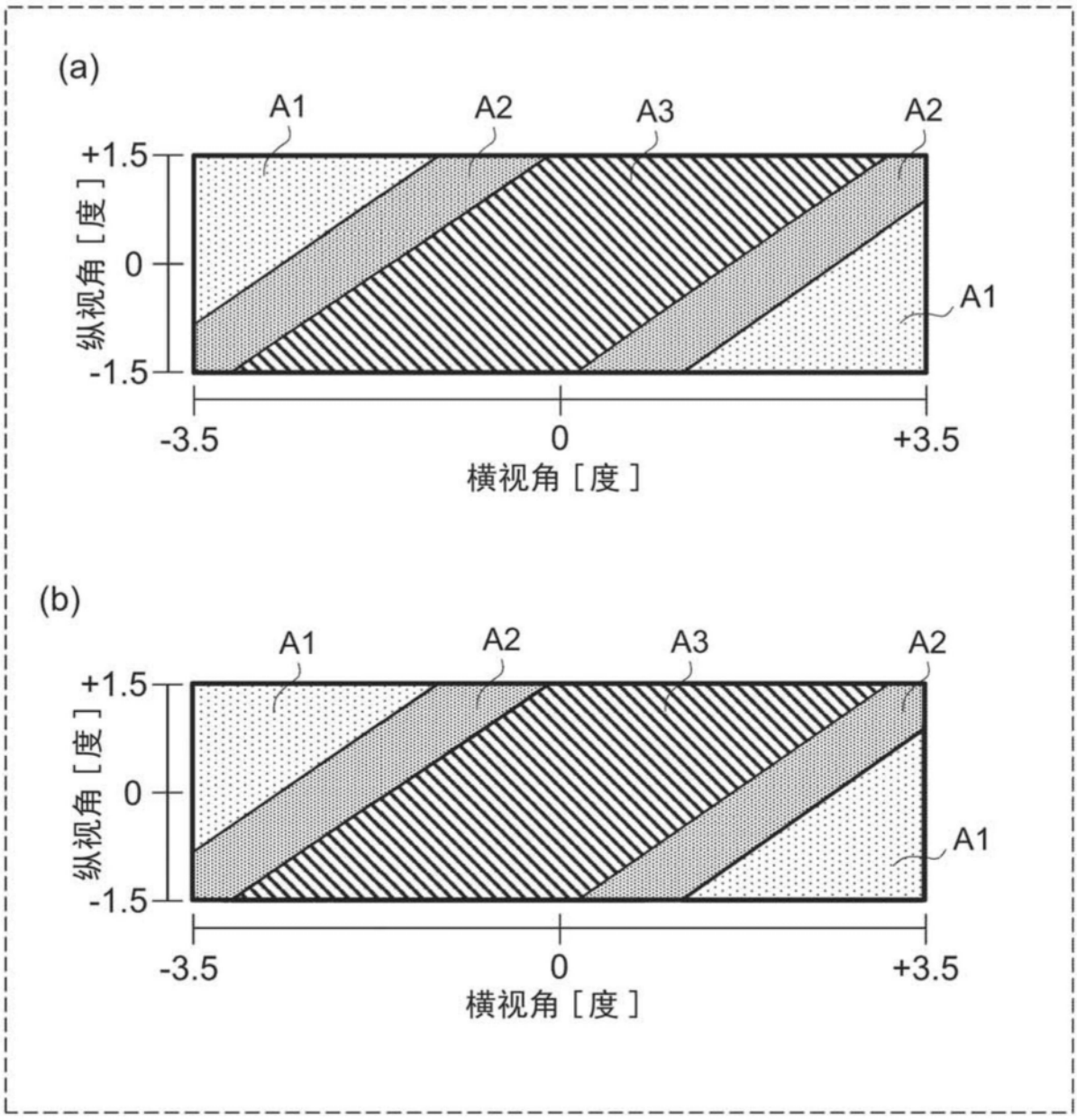

(a)
A1
A2
A3
A2
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
A1
-3.5
0
+3.5
横视角［度］
(b)
A1
A2
A3
A2
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
A1
-3.5
0
+3.5
横视角［度］

图14

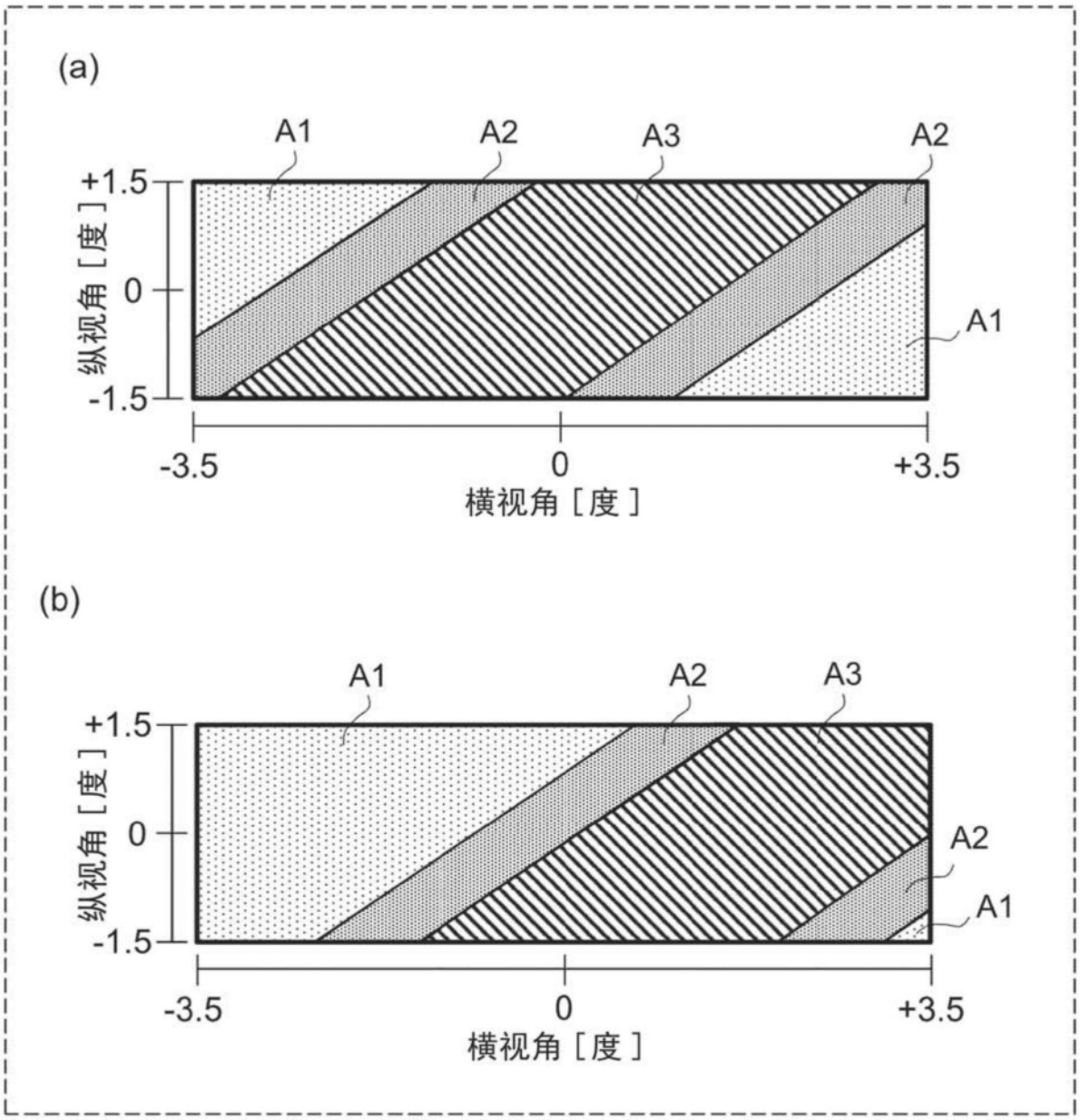

(a)
A1
A2
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］
(b)
A1
A2
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］

图15

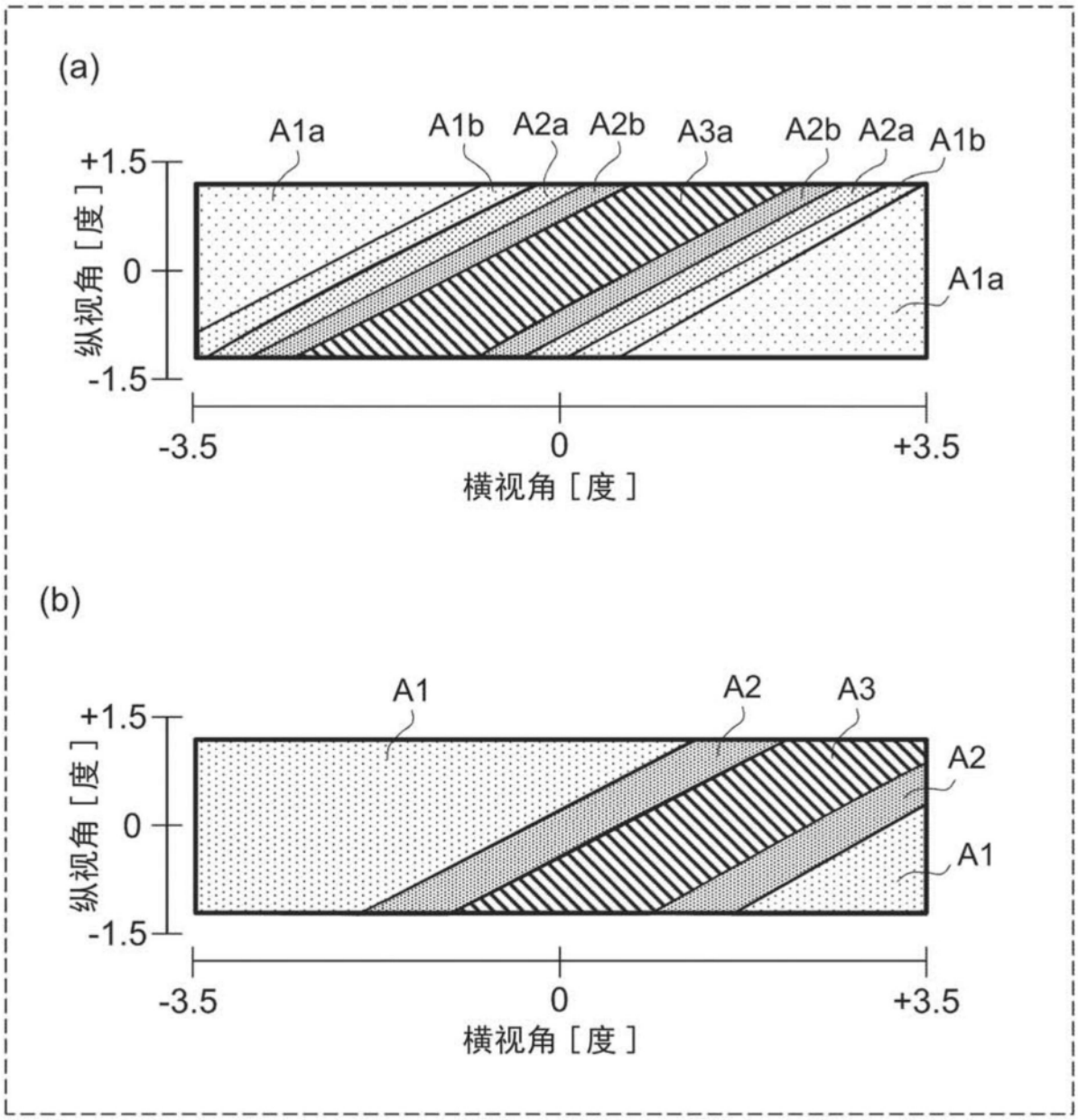

(a)
A1a
A1b
A2a
A2b
A3a
A2b
A2a
A1b
A1a
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］
(b)
A1
A2
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］

图16

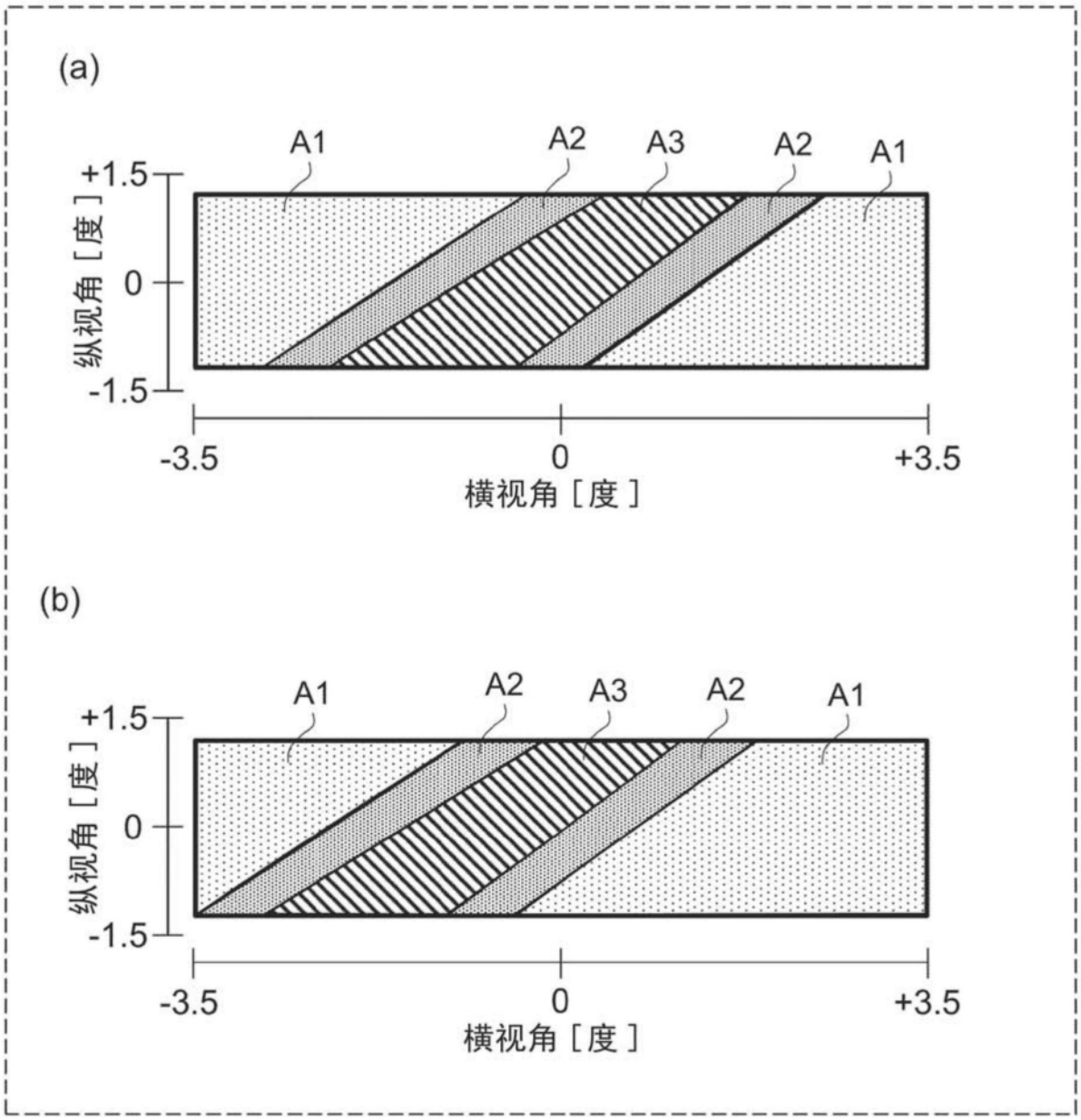

(a)
A1
A2
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］
(b)
A1
A2
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］

图17

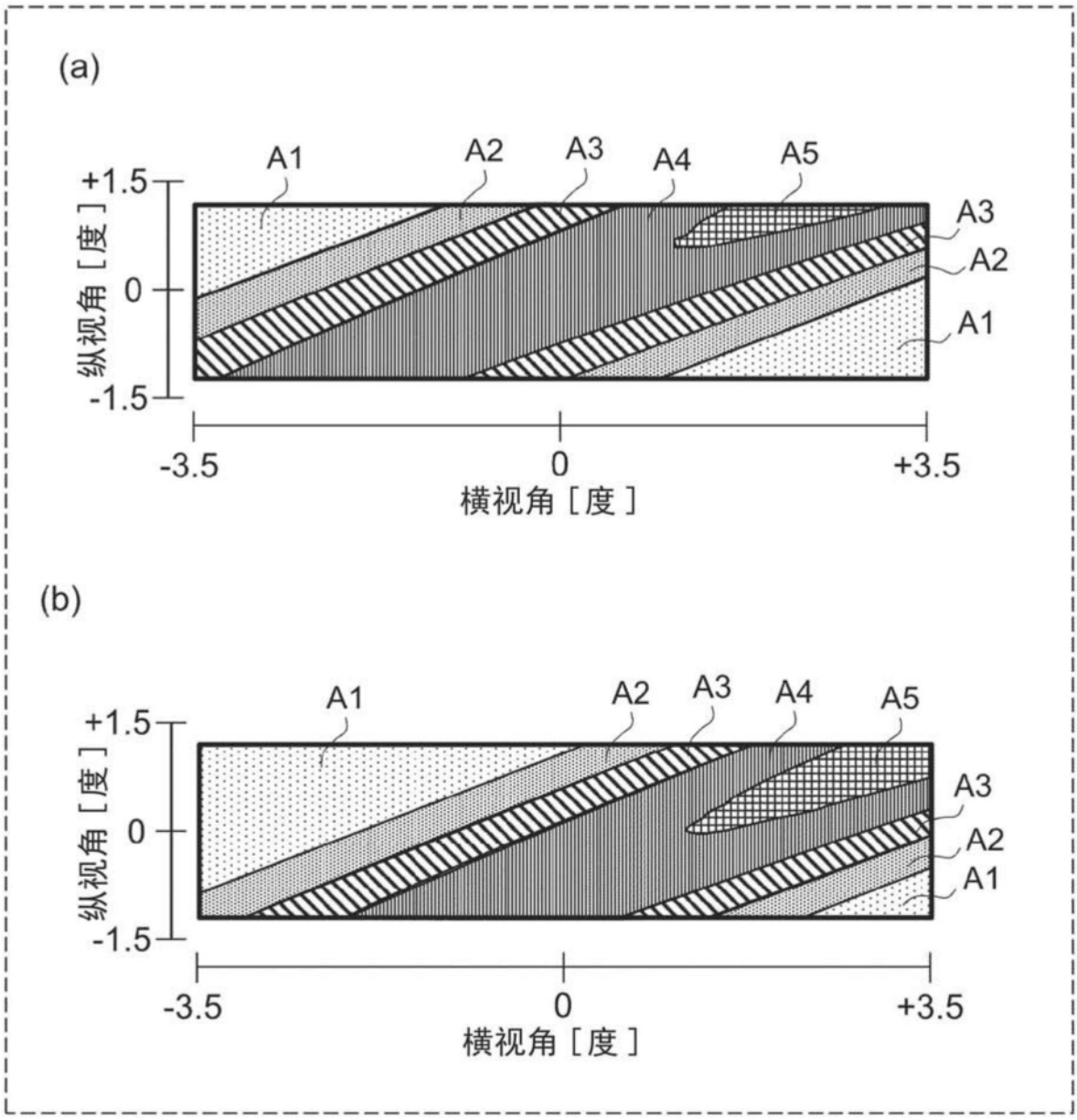

(a)
A1
A2
A3
A4
A5
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
A3
A2
A1
-3.5
0
+3.5
横视角［度］
(b)
A1
A2
A3
A4
A5
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
A3
A2
A1
-3.5
0
+3.5
横视角［度］

图18

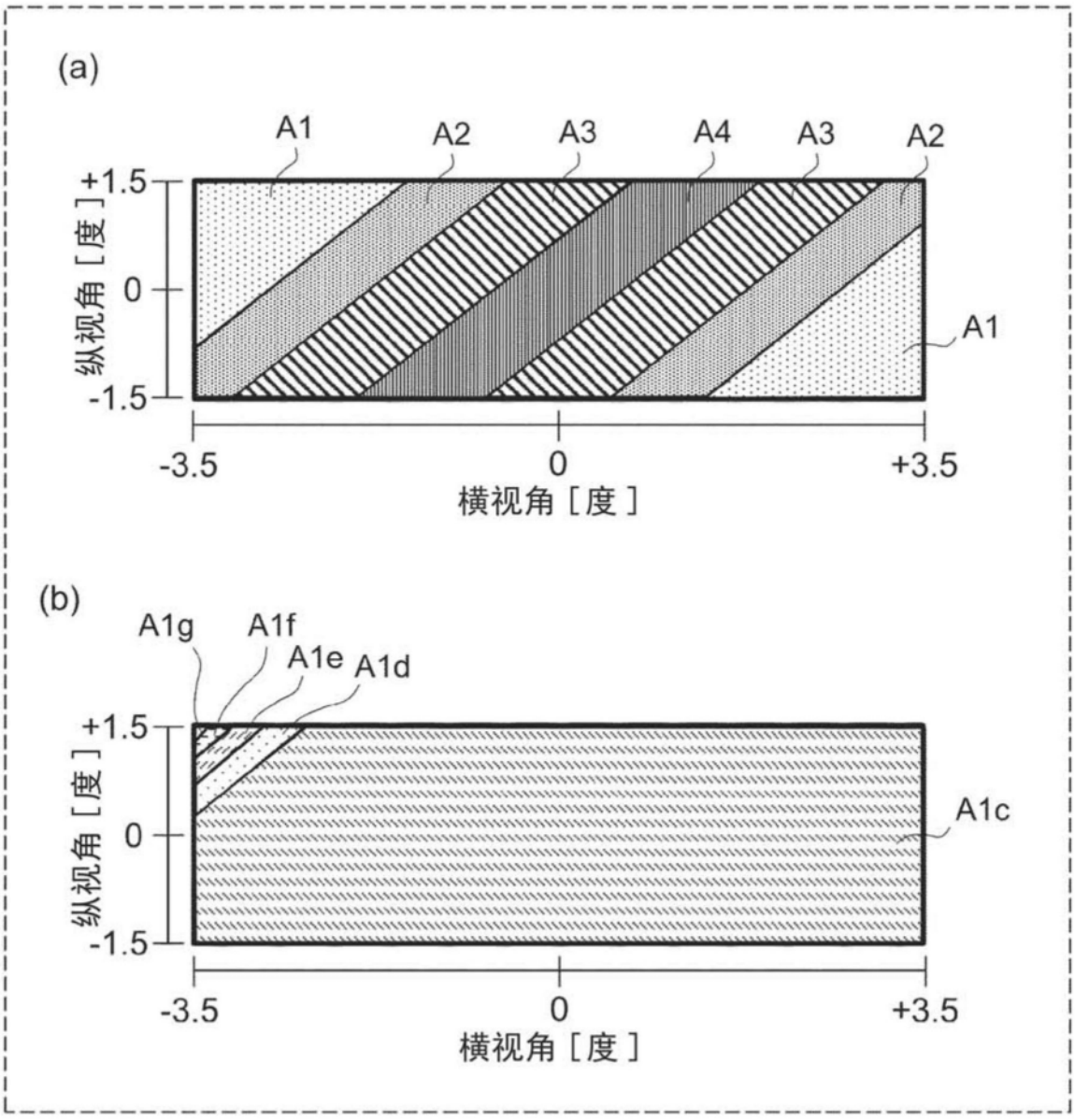

(a)
A1
A2
A3
A4
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］
(b)
A1g
A1f
A1e
A1d
A1c
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］

图19

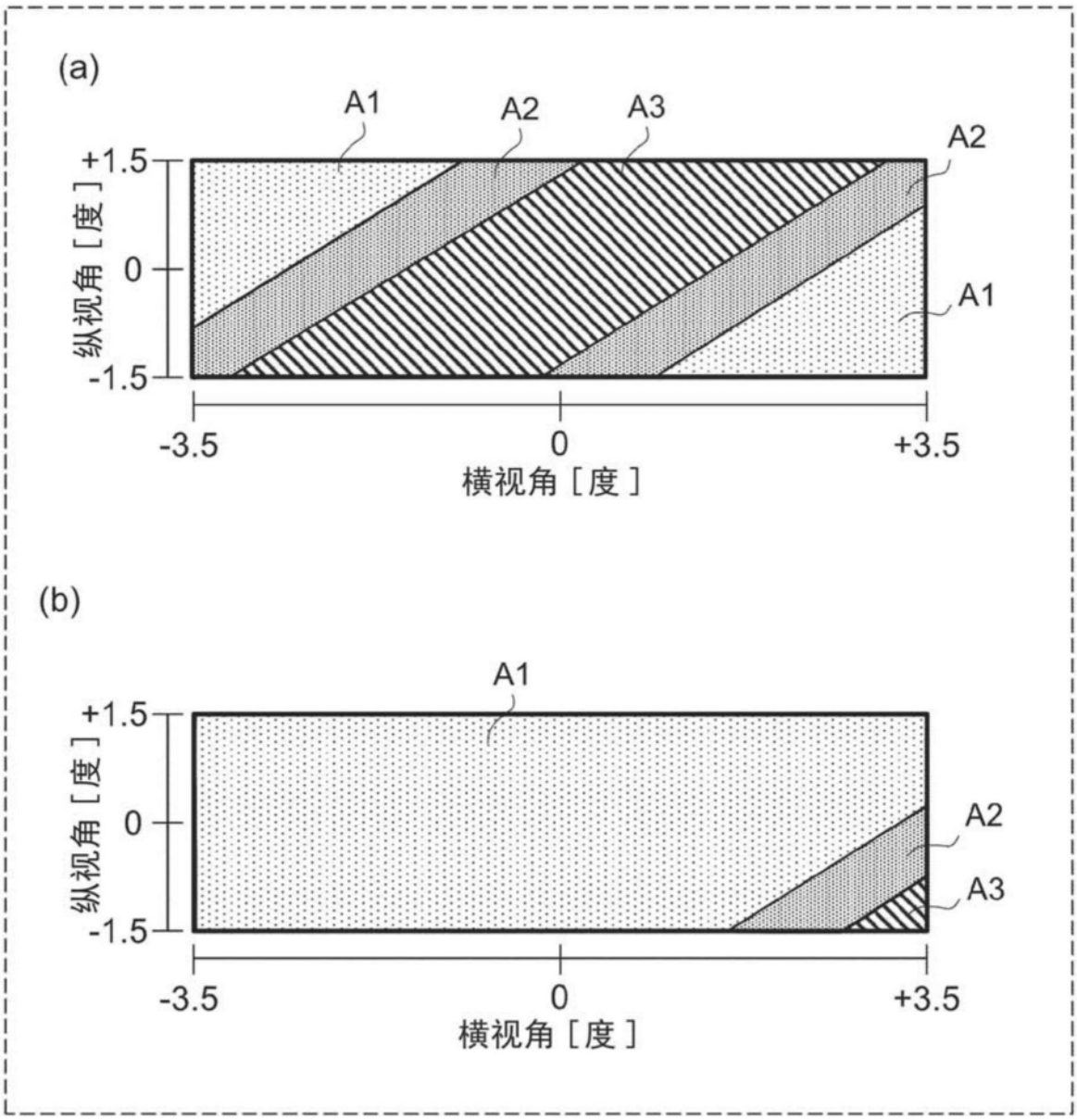

(a)
A1
A2
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］
(b)
A1
A2
A3
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］

图20

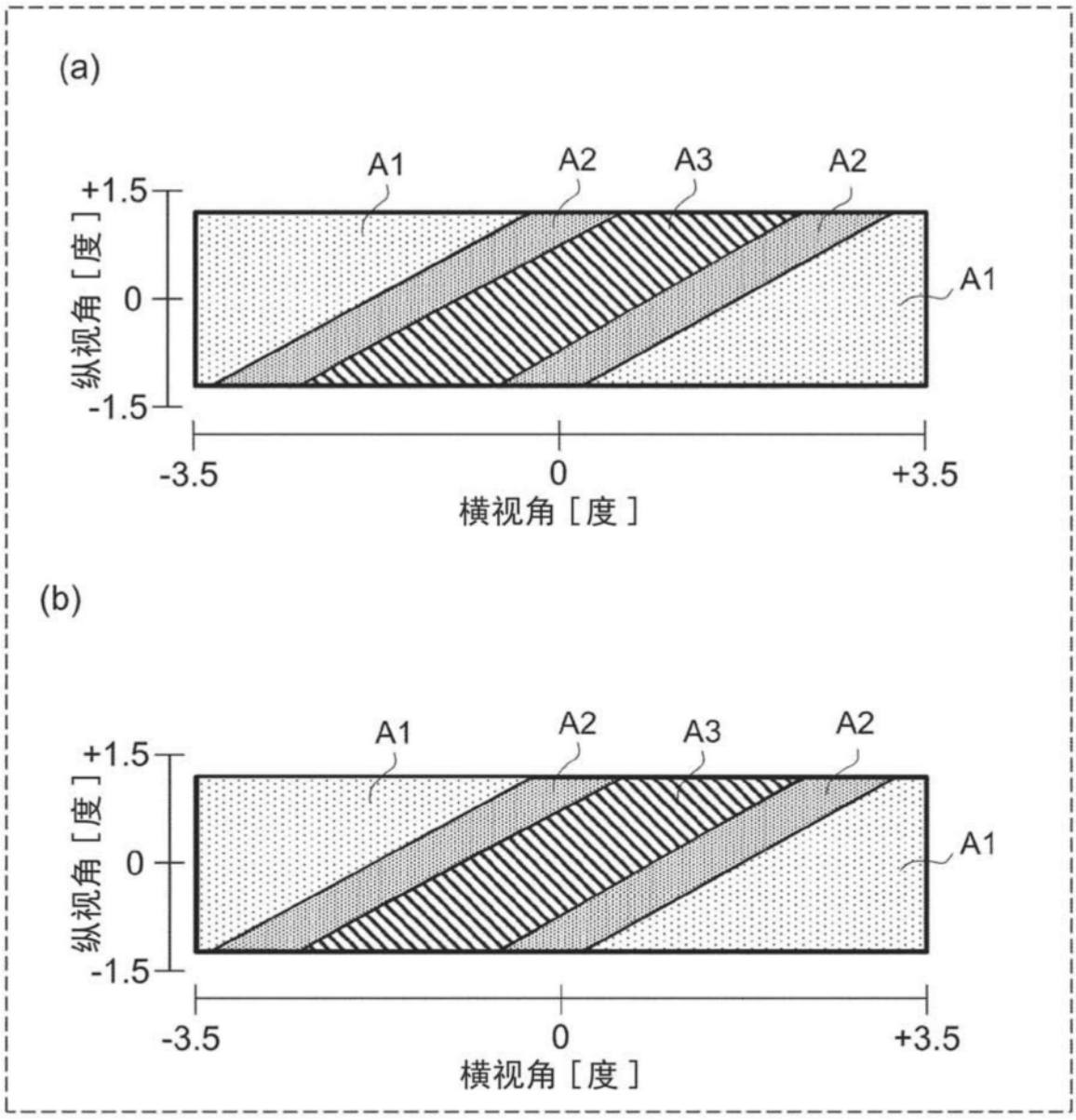

(a)
A1
A2
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］
(b)
A1
A2
A3
A2
A1
+1.5
0
-1.5
纵视角［度］
-3.5
0
+3.5
横视角［度］

图21

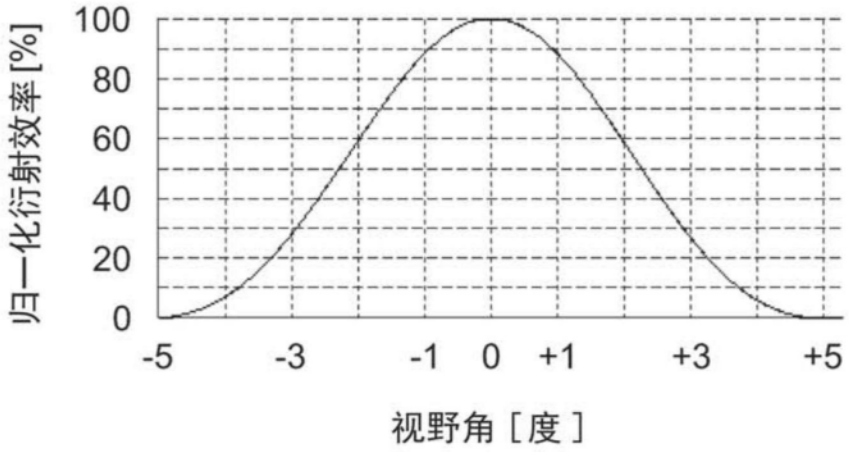

归一化衍射效率[%]
100
80
60
40
20
0
-5
-3
-1
0
+1
+3
+5
视野角[度]

图22

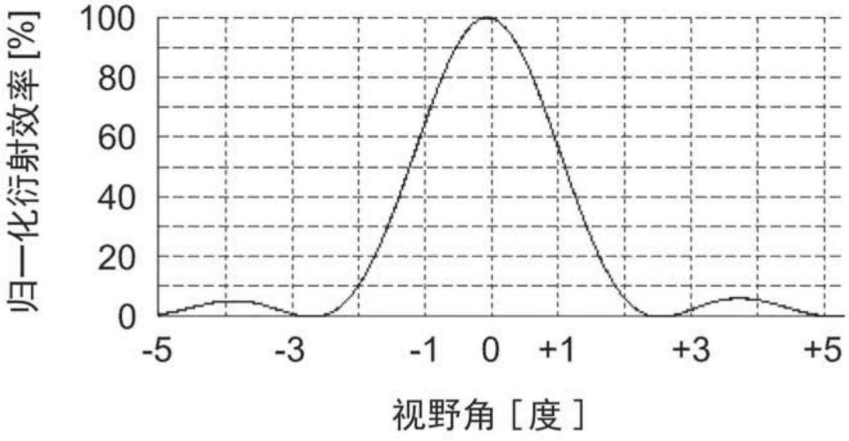

归一化衍射效率[%]
100
80
60
40
20
0
-5
-3
-1
0
+1
+3
+5
视野角[度]

图23