



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114846386 B

(45) 授权公告日 2024.04.02

(21) 申请号 202080089119.4

G02B 5/18 (2006.01)

(22) 申请日 2020.10.08

H04N 5/64 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114846386 A

(56) 对比文件

CN 104956148 A, 2015.09.30

(43) 申请公布日 2022.08.02

CN 107615136 A, 2018.01.19

(30) 优先权数据

2020-002825 2020.01.10 JP

CN 1605889 A, 2005.04.13

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.06.21

JP 2016048315 A, 2016.04.07

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2020/038161 2020.10.08

US 2010277803 A1, 2010.11.04

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/140717 JA 2021.07.15

JP 2017156388 A, 2017.09.07

(73) 专利权人 日立乐金光科技株式会社

地址 日本东京都

US 2017307886 A1, 2017.10.26

(72) 发明人 峰邑浩行 安斋由美子

US 2015293357 A1, 2015.10.15

(74) 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司 11243

US 2005112510 A1, 2005.05.26

专利代理人 曾贤伟 金成哲

CN 109557605 A, 2019.04.02

(51) Int.Cl.

WO 2016162593 A1, 2016.10.13

G02B 27/02 (2006.01)

US 2011102898 A1, 2011.05.05

(54) 发明名称

JP H10133008 A, 1998.05.22

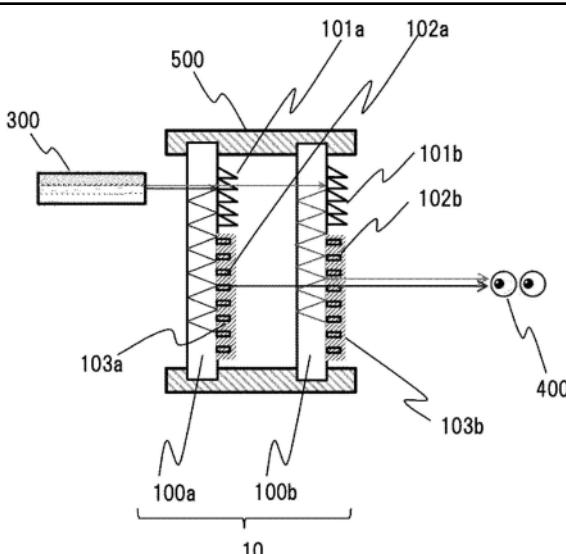
图像显示元件以及图像显示装置

CN 102236118 A, 2011.11.09

(57) 摘要

JP H0588151 A, 1993.04.09

在导光板上使用塑料且提高用户视觉确认的图像信息的亮度。一种图像显示元件，具备塑料基板、一体形成于塑料基板表面且将入射的影像光衍射的入射衍射光栅、一体形成于塑料基板表面且将影像光射出的射出衍射光栅、形成在射出衍射光栅上的厚度为10nm以上且1000nm以下、折射率为1.64以上且2.42以下的涂层。



1.一种图像显示元件,其特征在于,

具备:

塑料基板;

入射衍射光栅,其一体形成于上述塑料基板表面且将入射的影像光衍射;

射出衍射光栅,其一体形成于上述塑料基板表面且将上述影像光射出;以及

多层涂层,在使上述入射衍射光栅的凹凸图案的周期高度为H时,膜厚d1的第一电介质材料与膜厚d2的第二电介质材料交替地层叠N周期,其中,N为自然数,d1+d2与H大致相等且 $(d_1+d_2) \times N$ 为1000nm以下,

在使上述第一电介质材料的折射率为n1、厚度为d1,使上述第二电介质材料的折射率为n2、厚度为d2时,

$n_1 > n_2$ 且 $0.7H < d_1+d_2 < 1.3H$,

就上述H而言,

在上述入射衍射光栅为阶梯状衍射光栅、其高度为N级且最大高度为h的情况下,

$H = (N/N-1)h$,

在上述入射衍射光栅为炫耀型衍射光栅、其炫耀角为 θ_B 且衍射光栅周期为p的情况下,

$H = p \cdot \tan\theta_B$,

在上述入射衍射光栅为一般形状的衍射光栅、由其平均倾斜度得到的炫耀角度为θ且衍射光栅周期为P的情况下,

$H = P \cdot \tan\theta$ 。

2.一种图像显示装置,其特征在于,

具备:

作为用于形成影像光的光源的投影仪;

塑料基板;

入射衍射光栅,其一体形成于上述塑料基板表面且将入射的影像光衍射;

射出衍射光栅,其一体形成于上述塑料基板表面且将上述影像光射出;以及

形成在上述射出衍射光栅上的10nm以上且1000nm以下、折射率为1.4以上且2.42以下的涂层,

上述入射衍射光栅和上述射出衍射光栅形成于上述塑料基板的第一面,

上述投影仪设置于与上述第一面相反侧的第二面侧,

以能够从上述塑料基板的上述第一面侧视觉确认影像光的方式构成,

上述入射衍射光栅是反射型衍射光栅,在该反射型衍射光栅上具备多层涂层,

上述多层涂层具有交替地形成第一电介质薄膜与第二电介质薄膜的周期结构,

在使上述第一电介质薄膜的折射率为n1、厚度为d1,使上述第二电介质薄膜的折射率为n2、厚度为d2时,

$n_1 > n_2$ 且 $0.7H < d_1+d_2 < 1.3H$,

就上述H而言,

在上述入射衍射光栅为阶梯状衍射光栅、其高度为N级且最大高度为h的情况下,

$H = (N/N-1)h$,

在上述入射衍射光栅为炫耀型衍射光栅、其炫耀角为 θ_B 且衍射光栅周期为p的情况下,

$$H = p \cdot \tan\theta_B,$$

在上述入射衍射光栅为一般形状的衍射光栅、由其平均倾斜度得到的炫耀角为 θ 且衍射光栅周期为P的情况下，

$$H = P \cdot \tan\theta.$$

3. 根据权利要求2所述的图像显示装置，其特征在于，

使上述涂层的膜厚为70nm以上。

4. 根据权利要求2所述的图像显示装置，其特征在于，

使上述涂层的膜厚为25nm以上且小于35nm。

图像显示元件以及图像显示装置

技术领域

[0001] 本发明涉及将导光板与衍射元件组合的小型、轻量且能够显示增强现实的图像显示元件以及图像显示装置。

背景技术

[0002] 在增强现实的图像显示装置中,用户不只是所投影的图像,同时也能够看到周围。投影的图像可以与由用户感知的现实世界重叠。作为这些显示器的其他用途,能举出图像游戏、及眼镜等的可穿戴设备等。通过用户穿戴半透明的导光板与投影仪一体的眼镜或护目镜状的图像显示装置,能够与现实世界重叠地视觉确认从投影仪供给的图像。

[0003] 这样的图像显示装置之一具有记载于“专利文献1”~“专利文献3”的内容。在这些专利文献中,导光板由形成于玻璃制基板的多个凹凸形状的衍射光栅构成。从投影仪射出的光线通过入射用的衍射光栅,与导光板结合并进行全反射地在导光板内部传播。光线还通过其他衍射光栅变换为复制的多个光线,在导光板内进行全反射传播,最终从导光板射出。射出的光线的一部分通过用户的瞳孔在视网膜上成像,作为与现实世界的图像重合的增强现实图像而被视觉确认。

[0004] 在使用这样的凹凸型的衍射光栅的导光板中,从投影仪射出的光线的波数向量 K 在导光板中进行折射并通过安奈尔法则而波数向量成为 K_0 。而且,通过入射用衍射光栅变换为可在导光板内部进行全反射的波数向量 K_1 。通过设置于导光板的其他一个或多个衍射光栅接受衍射作用,如 $K_2, K_3 \dots$ 那样每次重复衍射而波数向量变化。

[0005] 若将最终射出导光板的光线的波数向量设为 K' ,则 $|K'| = |K|$,在投影仪通过导光板处于与眼睛相反侧的情况下为 $K' = K$ 。另一方面,在投影仪通过导光板处于与眼睛相反侧的情况下,关于波数向量,导光板为与反射镜相同的作用,将导光板的法线向量作为 z 方向,若比较波数向量的 x, y, z 成分,则能够表示为 $K_x' = K_x, K_y' = K_y, K_z' = -K_z$ 。

[0006] 导光板的功能是将从投影仪射出的光线复制为多个并进行导波、射出的多个光线作为原始图像与等价的图像信息被用户视觉确认的功能。此时,复制的光线组具有与持有从投影仪射出的影像信息的光线等价的波数向量而进行空间性的扩大。复制的光线组中的一部分进入瞳孔,通过与外界的信息一起在视网膜上成像而被视觉确认,能够向用户提供追加外界信息的增强现实的信息。

[0007] 具有影像信息的光线根据其波长而波数向量的大小不同。由于凹凸型的衍射光栅具有恒定的波数向量,因此,通过入射的光线的波长而衍射的波数向量 K_1 不同,以不同的角度在导光板内传播。构成导光板的玻璃基板的折射率相对于波长是大致恒定的,进行全反射并进行导光的条件的范围因入射的光线的波长而不同。因此,为了让用户视觉确认广角视野的图像,需要重叠多张每个波长不同的导光板。一般来说,导光板的数量认为分别与R、G、B对应的张数、或作为±1张的从2张至4张左右是适当的。

[0008] 记载于“专利文献1”中的图像显示装置是用于在二维空间内将输入光扩大的图像显示装置,具备三个直线状衍射光栅。其中一个是入射用的衍射光栅,其他两个射出用的衍

射光栅具有代表性地相互重叠于导光板的表面与背面而配置,起到复制用与射出用的衍射光栅的功能。另外,在“专利文献1”中记载通过圆柱状的光子结晶的周期结构而在一面上形成射出用的衍射光栅的示例。

[0009] 记载于“专利文献2”的图像显示装置为了解决通过“专利文献1”中的光子结晶而投影的图像在视野中央部中亮度高的问题,公开了用多个直线状的侧面构成光学性结构的形状。

[0010] 在记载于“专利文献3”、“专利文献4”的图像显示装置中,兼具入射衍射光栅、偏向用衍射光栅以及射出衍射光栅的三个衍射光栅在导光板内区域不重叠地配置。“专利文献3”中公开了为了提高入射衍射光栅的衍射效率而伸出的三角形状的衍射光栅。

[0011] 在“专利文献5”与“专利文献6”中公开了作为形成于导光板的衍射光栅使用入射用与射出用的两个反射型体积全息图的技术。在这些图中,反射型体积全息图是在空间内多重地形成与多个波长对应的衍射光栅的图,与“专利文献1”~“专利文献3”的凹凸型衍射光栅不同,以相同的角度使多个波长的光线衍射。因此,用户能够用一张导光板视觉确认RGB图像。另一方面,在上凹凸型衍射光栅中,由于在导光板内沿二维方向复制光线而能够实现广角视野,相对于此,由于反射型体积全息图只能提供一维复制功能,因此存在视野角度相对狭窄的特征。

[0012] 现有技术文献

[0013] 专利文献

[0014] 专利文献1:日本特表2017-528739号公报

[0015] 专利文献2:WO 2018/178626A1

[0016] 专利文献3:WO 2016/130342A1

[0017] 专利文献4:WO 99/52002A1

[0018] 专利文献5:日本特开2007-94175号公报

[0019] 专利文献6:日本特开2013-200467号公报

发明内容

[0020] 发明所要解决的课题

[0021] 以下,关于作为导光板具有凹凸型衍射光栅的导光板进行说明。另外,为了容易理解,大脑处理由眼睛的透镜作用产生的图像反转与投影到视网膜上的图像,再次反转而放弃认知的效果,关于从相对于导光板配置于与眼睛同侧的图像光源向前方的屏幕投影的投影图像,讨论像素位置与亮度的关系。实际视觉确认的图像为相对于此上下反转的图像。

[0022] 在“专利文献1”中,关于导光板的基板材料,如图15A所示,公开了使用玻璃材料的技术。关于衍射光栅,如其0017项所述,公开了通过蚀刻法加工导波路(=玻璃板)表面而形成的技术。另外,在“专利文献1”中,如其0039项所述,公开了使用光子结晶在一个面上形成两个射出衍射光栅的技术。在想要用注塑成型法形成与“专利文献1”的光子结晶相同的圆柱结构的情况下,如后述,圆柱的折射率与导波路(或者基板)相等。在该情况下,若作为圆柱的直径与高度的比的长宽比不变大为2左右以上,则投影图像的亮度不充分。

[0023] “专利文献2”所记载的改善投影图像中央部为高亮度的光子结晶是为了解决通过不是圆柱状而是直线状的光子结晶投影的图像在视野中央部中亮度高的问题而用多个直

线状的侧面构成光学性的结构的物质。在“专利文献2”中,如其第1页第34行,是改善中央部的条纹状的高亮度部分的内容。而且,在“专利文献2”中引用的W02016/020643号公报是与“专利文献1”相同的内容。在“专利文献2”中未明确地用附图等公开作为课题的中央部的条纹状的高亮度部分。

[0024] “专利文献3”的FIG.5C所公开的入射衍射光栅的截面形状具有伸出的三角形状的截面,能够有效地将从图中上方向(空气侧)入射的影像光线耦合到标注了影线的导光板的内部。

[0025] 一般来说,在图像显示元件中,具有影像信息的光线以具有能够通过设置于导光板内的入射衍射光栅而在导光板内进行全反射导光的波数的方式进行耦合,在导光板内传播。与射出衍射光栅交叉的光线的一部分被衍射,具有与原始影像光线相等的波数从导光板射出。向用户提供的影像信息具有与原始的影像信息的像素位置相应的行进角信息、即波数。为了一个像素的影像信息从导光板射出并到达用户的瞳孔,需要从根据行进角、导光板与用户的瞳孔之间的距离以及用户的瞳孔的大小而确定的导光板内的特定位置射出。如上述,在导光板内,为了复制光线而空间性地扩张射出,被用户视觉确认的光线空间性地扩张越大而越少,能视觉确认的亮度就会变小。另一方面,由于根据原始影像信息的像素位置而能被用户视觉确认的射出位置变化,在使用导光板的图像显示装置中,根据像素位置而亮度变化是不可避免的。

[0026] 在上述现有技术中,适合利用在导光板的制作中直接蚀刻玻璃基板的方法、或适于高长宽比的图案形成的纳米压印法等。在用塑料的注塑成型得到“专利文献1”与基于其的“专利文献2”的光子结晶结构的情况下,在光子结晶中需要使作为底面直径等的具有代表性的长度与其高度的比的长宽比为2左右以上。

[0027] 在此,在如“专利文献1”等公开那样在导光板中使用玻璃的情况下,在加工成本与用户穿戴时的重量上存在课题。因此,通过在导光板上使用塑料,能够解决该课题。并且,在本说明书等中,“树脂”与“塑料”的单词以同义使用。塑料是指由高分子化合物构成的材料,并不包含玻璃,是包含树脂、聚碳酸酯、丙烯酸树脂、光硬化树脂的概念。

[0028] 在导光板使用塑料的情况下,作为光盘介质的制作方法能够利用具有实际效果的注塑成型技术等形成衍射光栅。由于用注塑成型技术等形成的表面凹凸图案的长宽比不会超过1,因此,在2以上的长宽比中,图案转印的精度降低而难以适用。这是因熔融的聚碳酸酯树脂、丙烯酸树脂、聚烯烃树脂等粘性高、树脂不能高精度地进入以纳米周期构成的高长宽比的凹凸中这样的本质性的制造方法原理引起的问题。另外,“专利文献3”的入射衍射光栅由于利用伸出的三角形状的衍射光栅,由于在注塑成型技术等中不能剥离母模(压模)与导光板而不能够适用。

[0029] 相比较于现有的玻璃制导光板,由于塑料制的导光板其机械强度(杨氏模量)小,因此因环境温度、气压引起的变形会变大。关于详细内容后述,成为如夹持导光板且影像源与用户位于相反侧的透过型的光学结构是有效的。因此,希望为用透过型的光学结构也能够避免用户视觉确认的图像信息的亮度降低的结构。

[0030] 如此,为了使塑料制的导光板适于图像显示元件,需要考虑制造方法、图像信息的亮度的结构。因此,本发明的课题在于在导光板上使用塑料且提高用户视觉确认的图像信息的亮度。

[0031] 用于解决课题的方案

[0032] 本发明优选的一方案是一种图像显示元件,具备塑料基板、一体形成于塑料基板表面并将入射的影像光衍射的入射衍射光栅、一体形成于塑料基板表面并将影像光射出的射出衍射光栅、形成在射出衍射光栅上的厚度为10nm以上且1000nm以下、折射率为1.64以上且2.42以下的涂层。

[0033] 本发明优选的一方案是一种图像显示元件,具备塑料基板、一体形成于塑料基板表面并将入射的影像光衍射的入射衍射光栅、一体形成于塑料基板表面并将影像光射出的射出衍射光栅、在使入射衍射光栅的凹凸图案的周期高度为H时并以N(N为自然数)周期交替地层叠两种电介质材料、在使那些的膜厚为d₁、d₂时d₁+d₂与H大致相等且(d₁+d₂)×N为1000nm以下的涂层。

[0034] 本发明优选的另一方案是搭载了上述图像显示元件的图像显示装置,构成为,入射衍射光栅与射出衍射光栅形成于塑料基板的第一面、能够从与塑料基板的第一面相反侧的第二面侧入射影像光并从塑料基板的第一面侧视觉确认影像光。

[0035] 发明效果

[0036] 根据本发明,能够在导光板上使用塑料且提高用户视觉确认的图像信息的亮度。

附图说明

[0037] 图1A是表示实施例的导光板的示意剖视图。

[0038] 图1B是表示实施例的导光板的示意剖视图。

[0039] 图2是表示射出衍射光栅的相位函数的例子的图像图。

[0040] 图3是实施例的网格型衍射光栅的立体图。

[0041] 图4是表示作为模拟的基本的射出圆的定义的概念图。

[0042] 图5是表示在导光板内部传播的光线的强度分布的模拟结果的图像图。

[0043] 图6是表示实施例的图像显示元件的结构的示意剖视图。

[0044] 图7是表示导光板的衍射光栅与波数向量的关系的示意俯视图。

[0045] 图8是表示投影图像的模拟结果的图像图。

[0046] 图9是表示入射衍射光栅的衍射光线的模拟结果的图像图。

[0047] 图10A是入射光与射出光位于导光板的同一侧的图像显示元件例的示意图。

[0048] 图10B是入射光与射出光位于导光板的相反侧的图像显示元件例的示意图。

[0049] 图11是表示电介质薄膜的膜厚与衍射效率、及透过率的模拟的结果的图表图。

[0050] 图12是实施例的射出衍射光栅的模拟模型的示意图。

[0051] 图13是用户的视觉确认图像的图像图。

[0052] 图14A是用户的视觉确认图像的模拟结果的图表图。

[0053] 图14B是用户的视觉确认图像的模拟结果的图表图。

[0054] 图14C是用户的视觉确认图像的模拟结果的图表图。

[0055] 图15A是表示电介质材料的折射率的范围的图表图。

[0056] 图15B是表示电介质材料的折射率的范围的放大图表图。

[0057] 图16A是表示相对于电介质膜厚的射出衍射光栅的特性的图表图。

[0058] 图16B是表示相对于电介质膜厚的射出衍射光栅的特性的图表图。

- [0059] 图16C是表示相对于电介质膜厚的射出衍射光栅的特性的放大图表图。
- [0060] 图17是表示实施例的导光板的RGB显示图像的模拟结果的表图。
- [0061] 图18是表示实施例的图像显示元件的结构的示意剖视图。
- [0062] 图19是表示入射衍射光栅与衍射光的关系的示意图。
- [0063] 图20是表示入射衍射光栅与衍射光的关系的示意图。
- [0064] 图21是表示入射衍射光栅的截面形状与周期高度的关系的表图。
- [0065] 图22A是表示入射衍射光栅的模拟模型的示意图。
- [0066] 图22B是表示入射衍射光栅的模拟模型的示意图。
- [0067] 图23A是表示入射衍射光栅的模拟模型的示意图。
- [0068] 图23B是表示入射衍射光栅的模拟模型的示意图。
- [0069] 图24A是表示入射衍射光栅的性能的波长依存性的图表图。
- [0070] 图24B是表示入射衍射光栅的性能的波长依存性的图表图。
- [0071] 图24C是表示入射衍射光栅的性能的波长依存性的图表图。
- [0072] 图25是形成在入射衍射光栅上的电介质涂层的厚度与周期高度的关系的图表图。
- [0073] 图26是表示将实施例的电介质薄膜层叠13层的情况下膜形状的示意剖视图。
- [0074] 图27是表示图像显示元件的其他示例的示意图。
- [0075] 图28是表示实施例的导光板的形成方法的示意剖视图。
- [0076] 图29是表示实施例的图像显示装置的结构的示意图。

具体实施方式

[0077] 以下,参照附图说明本发明的实施方式。可是,本发明并不是限于以下所示的实施方式所记载的内容进行说明的内容。在不脱离本发明的思想及宗旨的范围内,如果是本领域技术人员则能够容易地理解变更其具体结构而得到的内容。

[0078] 在以下说明的发明的结构中,在相同部分或具有相同功能的部分在不同的附图之间共通地使用相同的符号,省略重复的说明。

[0079] 在具有多个相同或具有相同功能的要素的情况下,会有在同一符号中标注不同的标记进行说明的情况。可是,在不需要区分多个要素的情况下会有省略标记进行说明的情况。

[0080] 本说明书等中的“第一”、“第二”、“第三”等的标记是为了识别构成要素而标记的记号,未必限定数量、顺序、或其内容。另外,用于构成要素的识别的编号使用于每个语境中,在一个语境中使用的编号在其他语境中未必表示同一结构。另外,不会妨碍用某编号识别的构成要素兼具用其他编号识别的构成要素的功能。

[0081] 在附图等中表示的各结构的位置、大小、形状、范围等为了容易地理解发明,会存在未表示实际的位置、大小、形状、范围等的情况。因此,本发明未必限定于附图等中所公开的位置、大小、形状、范围等。

[0082] 在本说明书中引用的出版物、专利以及专利申请维持原样地构成本说明书的说明的一部分。

[0083] 本说明书中用奇数形式表示的构成要素只要不在特定段落语境中明确表示,则含有多种形式。

[0084] 在本实施例中,在射出衍射光栅上通过溅射法等形成薄膜涂层,提高向用户眼睛的方向的衍射效率。由此,适用塑料制的导光板、且实现图像信息的亮度的提高。由形成于塑料制导光板的表面的凹凸图案产生的衍射效率的上限主要由光源的波长、图案高度以及塑料材料的折射率确定,如后述,最大约为4%左右。通过在射出衍射光栅上用电介质材料形成薄膜涂层,可将该上限提高至2倍左右。关于详细内容在以下的实施例中叙述。

[0085] 图1A以及图1B是说明由薄膜涂层产生的透过型的射出衍射光栅的衍射效率的提高的示意图。图1A是塑料制的导光板的剖面的示意图。导光板100由塑料材料形成,在表面作为凹凸图案而形成有射出衍射光栅102。若利用注塑成型法等的塑料成型技术,则这些由相同的材料作为一体成型而形成。可是,在注塑成型法等的塑料成型技术中,射出衍射光栅的凹凸图案的长宽比(高度/宽度)优选为约1以下。相对于入射光的射出衍射光栅的相位调制量取决于凸部的塑料材料的折射率与凹部的空气的折射率的差。

[0086] 图1B是通过溅射法等在射出衍射光栅102的表面上用电介质膜形成涂层103的情况的示意图。在表面上反映原本的衍射光栅图案的凹凸,形成电介质材料的凹凸图案。此时,通过使所使用的电介质材料的折射率高于塑料材料的折射率,相位调制量以反映电介质材料与空气的折射率差的方式变大。由此,即使凹凸图案的长宽比为1以下,也可得到大的衍射效率。详细的说,需要以通过FDTD(Finite Differential Time Domain)法等实施电磁场解析而得到预定的衍射效率的方式确定电介质材料的膜厚。如后述,形成的电介质材料的膜厚在10nm至200nm的厚度中能够得到增大衍射效率的效果。

[0087] 在注塑成型法等具有实际效果的塑料成型技术中,转印至导光板的表面的凹凸图案的长宽比小的一方容易形成。作为减小凹凸图案的长宽比的方法,优选作为射出衍射光栅102采用具有二维网格状的图案的衍射光栅。由此,转印至导光板的表面的凹凸图案的长宽比容易为1以下,能够容易地提供使用注塑成型法等具有实际效果的塑料成型技术的导光板。

[0088] 光子结晶、衍射光栅是通过表面凹凸对入射光空间性地影响相位调制的结构。相位调制的大小与表面结构与空气的折射率的差以及表面凹凸的高度成比例地变大。

[0089] 图2是示意化地表示射出衍射光栅102的波数的图。相对于Y轴具有±60度方位角且具有波数K1、K2的衍射光栅的相位系数分别在图2(a)、图2(b)中表示,分别具有正弦波的相位分布。相位调制量规范化为1。将这些合并能得到图2(c),专利文献1等中记载的光子结晶可以说成为使该光子近似于光柱等并用高折射率的材料形成于导光板的表面的结构。如图所见,K1+K2的相位调制量的最大值为2,用孤立的柱等近似这个值,则相比较于图2(a)、图2(b)的单一正弦波衍射光栅,判断为需要2倍的高度(长宽比)。

[0090] 图3是将射出衍射光栅102作为网格状的射出衍射光栅的实施例的立体图。相比较于图2(c),由于不是正弦波结构,因此,若进行傅里叶变换则具有高次元的波数成分,在作为导光板利用的情况下,通过适当地选择周期,二维以上的波数成分相对于入射光不能衍射(波数为虚数)。而且,网格状的衍射光栅是将±60度的矩形衍射光栅重合的结构,与柱等相比较,由于不具有基本波K1、K2方向以外的波数成分,因此衍射效率高。

[0091] 由此,能够提供减小了长宽比的二维的射出衍射光栅,能够利用注塑成型法等的塑料成型技术实现,能够提供安全、轻量、且图像亮度高的导光板。

[0092] 如之后所说明,关于本实施例的入射衍射光栅,并不是“专利文献3”中的透过型衍

射光栅，优选利用通过为反射型衍射光栅而相对于折射偏向作用大的反射而实现低长宽比化。

[0093] 在本说明书中，在将光轴方向作为Z轴、在导光板的表面上获得XY面的坐标系中进行说明。另外，若使用户的瞳孔近似为圆形，则根据像素位置，用户视觉确认的导光板内的射出位置也为圆形。以下，将这称之为射出圆。

[0094] 图4是用于说明射出圆的示意图。这里表示作为用于形成图像的光源的投影仪300与用户的瞳孔400相对于导光板100配置于相反侧的情况。作为入射衍射光栅101的波数向量朝向y方向，图4中的箭头表示x-z面内的光线。这里为入射衍射光栅101不具有x方向的波数向量成分。

[0095] 在用户视觉确认的影像光线中、与视野中央对应的显示图像的中央的光线301如图所示，在x-z面内直线行进并到达用户的瞳孔400。作为导光板100的作用的向y方向的衍射未明确地表现，但在入射衍射光栅101与射出衍射光栅102中至少各衍射一次。

[0096] 另一方面，在用户视觉确认的影像光线中、与视野周边对应的显示图像的周边的光线302在没有x方向的衍射的情况下向图中右侧的方向行进。另一方面，为了用户将该光线作为投影图像进行辨识，需要通过在图中作为被视觉确认的光线304表示的路径，相同角度的光线到达用户的瞳孔400。射出圆303是位于射出衍射光栅102上、在视觉确认的光线方向上使用户的瞳孔400平行移动而得到的假想的圆。仅从射出衍射光栅102上的射出圆303中射出的光线304作为投影图像被用户所辨识，其以外的光线不能辨识。如此，在射出衍射光栅102上需要x方向的衍射作用。

[0097] 图5是使用后述的模拟方法进行计算的在导光板内部传播的光线的强度分布。在此，要注意在包含导光板的衍射光栅的面内x-y面中表示强度分布。图中，入射衍射光栅101配置于上侧，在其下侧配置相当于用户的眼睛的瞳孔。

[0098] 图5(a)表示像素位置在被投影的图像中央的情况下向图像中央的光的强度分布。图中的射出圆表示到达瞳孔的光线在射出衍射光栅102上最后进行衍射的区域。从入射衍射光栅101向y方向的直线上的亮度高的区域表示在由入射衍射光栅101中进行衍射并在导光板内部传播的主要的光线组(以下，主光线组)。如图所示，具有通过主光线组的传播而强度逐渐衰减的特性。向主光线组的周边扩大的亮度低的光线组是通过射出衍射光栅102进行衍射且行进方向在x-y面内偏转的光线组。在该条件下，由于被投影的光线位于z轴方向，因此判断在x-y面内射出圆与瞳孔一致。因此，到达瞳孔并作为图像辨识的是强度强的主光线组的一部分。

[0099] 图5(b)是在投影图像的右上角的像素位置的情况下向图像周边的光的强度分布。如图所示，主光线组从入射衍射光栅101向右下方向行进。瞳孔的位置是恒定的，但由于射出圆是朝向瞳孔并向右上方行进的光线组的射出位置，因此在x-y面内相对于瞳孔向左下方转移。该情况下，由于射出圆位于从主光线组离开的位置，因此，到达瞳孔且作为图像进行辨识的光线组比较于上面的情况亮度会变低。以上是使用导光板100投影图像的情况下产生亮度不均的原因中的主因。

[0100] 若使光栅间距为P则衍射光栅的波数向量的大小用 $K=2\pi/P$ 表示。若用在z轴上获取光轴方向的坐标系中表示，则入射衍射光栅101的波数向量为 $K_1 = (0, -K, 0)$ 。射出衍射光栅102具有所成的角度为120度的2个波数向量，那些是 $K_2 = (+K/\sqrt{3}, K/2, 0)$ 、 $K_3 = (-K/\sqrt{3}, K/2, 0)$ 。

$K/2, 0$)。使射入导光板100中的光线的波数向量为 $K^i = (K_x^i, K_y^i, K_z^i)$, 使射出的光线的波数向量为 $K^o = (K_x^o, K_y^o, K_z^o)$, 若在 K_i 上依次作用 K_1, K_2, K_3 , 则如以下, 会明白, $K^o = K^i$, 射出与入射光线具有相同的波数向量的光线、即具有相同的影像信息的光线。

[0101] $K^o = K^i$

[0102] $K_x^o = K_x^i + 0 + (K/\sqrt{3}) - (K/\sqrt{3}) = K_x^i$

[0103] $K_y^o = K_y^i + K - (K/2) - (K/2) = K_y^i$

[0104] $K_z^o = K_z^i$

[0105] 其次, 关于用于实施例的图像显示元件的解析的模拟方法简单地进行叙述。1962年由G.H.Spencer所提倡的光线追踪法[G.H.Spencer and M.B.T.K.Murty, "General Ray-Tracing Procedure", J.Opt.Soc.Am, 52, P.672(1962).]是通过着眼于光的粒子性追踪路径, 从而计算在某点中观测的图像等的方法, 以计算机图形领域为中心集中精力持续改良。基于光线追踪法的蒙特卡洛光线追踪法[I.Powell "Ray Tracing through systems containing holographic optical elements", Appl.Opt.31, pp.2259-2264(1992).]是通过有效地处理因衍射、反射等导致的路径的分离, 防止计算量的指数函数性增大的方法, 适用于重复衍射与全反射传递的导光板的模拟。在蒙特卡洛光线追踪法中, 能够如实地再现反射、衍射, 但关于衍射, 需要进行所适用的模型的开发。

[0106] 在适合头戴显示器的导光板中, 需要与全部可视光区域中的波长范围(约400-700nm)、对应于投影图像的视角(约40°)的入射角范围对应的衍射模型, 在市售模拟器中, 计算量变得巨大。这里, 鉴于能目视确认的光线是全光线的一部分, 使用通过预先停止向不可见区域内引导的光线的计算的算法, 将计算量削减至1/1000以下的算法。由衍射光栅产生的衍射效率的角度以及波长依存性为预先将由FDTD法得出的计算结果图表化并进行参照的方式。

[0107] 实施例1

[0108] 以下, 关于实施例的图像显示元件详细地进行说明。

[0109] <1. 图像显示元件的整体结构>

[0110] 图6表示实施例的图像显示元件的结构。这里, 图像显示元件10由两张导光板100a、100b构成, 分别形成入射衍射光栅101、射出衍射光栅102。

[0111] 入射衍射光栅101是直线状的表面凹凸型的衍射光栅。作为入射衍射光栅101示例衍射效率高的炫耀型衍射光栅(blazed grating), 但种类并未特别限定。

[0112] 射出衍射光栅102的图案周期分别与入射衍射光栅101相同。在射出衍射光栅102的表面上分别形成涂层103。导光板100a、100b具有分别不同的图案周期P1、P2, 对应的波长范围不同。在P1<P2的情况下, 导光板100a主要在彩色图像的波长范围中的短波侧的显示上发挥功能, 导光板100b主要在长波长侧的显示上发挥功能。P1例如是360nm, P2例如是460nm。导光板100的数量是任意的, 根据处理的光的波长可以是1个或3个以上的多个。各导光板的图案周期优选根据处理的波长而改变。

[0113] 根据后述的理由, 入射衍射光栅101配置于导光板100的与影像光的入射面相反侧的面上。在本实施例中, 射出衍射光栅102形成于与入射衍射光栅101相同的面上。在同一面上形成两个衍射光栅的情况下, 由于用于形成衍射光栅图案的压模可以是一张, 因此在成本方面是有利的。另一方面, 发明者们进行射出衍射光栅的衍射效率的研究后明白了, 若考

虑用于在导光板100内导光的反射衍射，则用户视觉确认一次反射衍射光束能够提高目视确认亮度。如图6所示，若将入射衍射光栅101与射出衍射光栅102都配置于与影像光的入射面相反侧的面上，则用户视觉确认一次透过衍射光，提高亮度的结构变得重要。并且，也可将入射衍射光栅101与射出衍射光栅102分别形成于相反侧的面上。

[0114] 射出衍射光栅102的形状既可以是与入射衍射光栅101相同的直线条纹形状，也可以是图3所示的网格形状。如果为网格形状，会有进一步提高衍射效率等的效果，但并不排除其他的衍射光栅的形状。

[0115] 在本实施例中，射出衍射光栅102基本上只形成于导光板100的一个面上。即，在图6的示例中，导光板100的与射出衍射光栅102相反侧的面没有图案而基本上是平坦的。与射出衍射光栅102相反侧的面实质上不引起衍射，光线理想性地进行全反射。若在导光板100的两面上将一个射出衍射光栅分散地配置，则存在因导光板的热膨胀等产生两个衍射光栅的位置偏离的可能性。

[0116] 根据这样的结构，从投影仪300射出的影像结构可通过用户的瞳孔400进行视觉确认。来自投影仪300的光相对于图像显示元件10从与用户的瞳孔400相反侧入射。可是，不需要投影仪300物理性地配置于与用户的瞳孔400相反侧，只要将来自配置于任意的位置的投影仪300的光线由反射镜等从导光板100的任意的面射入即可。

[0117] 图7表示形成于一张导光板100的入射衍射光栅101与射出衍射光栅102的波数向量的关系的一例。如前述，为了导光板100作为图像显示元件发挥功能，在图中，只要波数K1、K2、K3的大小相等，满足 $K_1+K_2+K_3=0$ 的关系即可。

[0118] <2.射出衍射光栅的结构>

[0119] 通过图8，首先关于射出衍射光栅102的具体示例进行叙述。通过图8(a)与图8(b)进行相同长宽比0.8情况下的光子晶体与网格型衍射光栅的投影图像的比较。图8(a)是“专利文献1”中记载的柱型光子晶体的立体图与其投影图像的模拟结果。图8(b)是本实施例的网格型衍射光栅的立体图与其投影图像的模拟结果。形状以外的条件是相同的。如图所示，可以看出，在长宽比为1以下的情况下，在光子晶体中，投影图像的中央部的亮度高且视觉确认性差。与之相比，本实施例的网格型衍射光栅是低长宽比的图案而能够得到良好的投影图像。

[0120] 在网格型衍射光栅中，模拟图案的能率与衍射效率以及长宽比的关系。若使衍射光栅的图案的间距为p、图案的宽度为w，则能率用 w/p 表示。在模拟中，图案间距 $p=460\text{nm}$ 、图案高度=70nm、光线的波长=550nm、导光板的厚度=1.0mm、导光板的折射率=1.58。投影图像的视野角度为40度。

[0121] 根据模拟结果，一次衍射效率 η_1 为 $w/p=0.5$ ，最大值约为4.2%，判断为随着 w/p 近似0或1而降低的特性。在得到0.6%左右的衍射效率的情况下，本实施例的网格型衍射光栅的 w/p 需要确定为0.15以上且0.85以下的范围。另外，效率好的是 w/p 为0.3以上且0.7以下的范围，效率最好的是 w/p 为0.4以上且0.6以下的范围。

[0122] 关于图案的长宽比，由于用图案高度=70nm进行固定，因此，若 w/p 近似1或0，会长宽比增加。若将图案的长宽比为1以下的情况作为注塑成型法等的适应的基准，则本实施例的网格型衍射光栅的 w/p 需要确定为0.15至0.85的范围内。另外，长宽比最小且最容易制造的是 $w/p=0.5$ 。

[0123] 以上,可以说在原理上 $w/p=0.5$ 、即 $w=p-w$ 时网格型衍射光栅的衍射效率最大、且图案的长宽比最小。

[0124] 其次,通过图9关于入射衍射光栅101的具体示例进行说明。

[0125] <3.入射衍射光栅的结构>

[0126] 图9(a)是与“专利文献3”相同的透过型衍射光栅的模拟结果。透过型衍射光栅透过衍射入射的光,在导光板(基板)100内部传递。入射衍射光栅101的位置形成于靠近导光板100的光源的面。

[0127] 影像光线1000是从左侧入射的结构,图中的右半部表示基板(Sub)。在透过型的衍射光栅中,由炫耀面进行的衍射与由周期结构进行的衍射在相位相协调的条件下能得到最大的衍射效率。如图所示,为了实现该效果需要凹凸图案的高度大,需要图案的角度为70度至80度、周期内将图案的高度分割的长宽比为10以上。在注塑成型等的一般的塑料成型方法中,长宽比超过1就会产生转印性恶化等的问题,会降低量产时的成品率。这里表示的透过型的衍射光栅判断为作为本实施例的入射衍射光栅是不适用的。

[0128] 图9(b)是反射型的衍射光栅的模拟结果。在反射型的衍射光栅中,入射的光进行反射衍射,即,向光源侧反射并在导光板(基板)100的内部传播。入射衍射光栅101的位置形成于距离导光板100的光源远的面。

[0129] 影像光线1000同样的是从左侧入射的结构,图中的左半部表示基板(Sub)。在反射型的衍射光栅中,由炫耀面进行的反射与由周期结构进行的衍射在相位相协调的条件下能得到最大的衍射效率。如图所示,相比较于透过型,判断在低长宽比的凹凸图案中能满足该条件。此时的凹凸图案的高度约为250nm,长宽比约为0.57。在上述试制元件中,能够良好地转印图案高度为374nm的三角形状的凹凸图案。适用于采用塑料成型的本实施例的导光板的入射衍射光栅可以是反射型的入射衍射光栅。

[0130] <4.研究导光板的倾斜度的影响>

[0131] 图10A以及图10B是表示两张导光板100的相对倾斜度的影响的示意图。在图10A以及图10B中,导光板100分别由对应波长不同的导光板100a与100b构成。另外,300表示影像投影用的投影仪,400表示用户的瞳孔,500表示投影的影像光线。

[0132] 在该示例中,基于图9中说明的见解,入射衍射光栅采用反射型的衍射光栅。因此,入射衍射光栅101形成于导光板100的距离投影仪300远的面(图中右侧面)。射出衍射光栅102由于在工艺上的便利性上形成于与入射衍射光栅101相同的面上能够提高精度,因此相同地形成于距离投影仪300远的面。

[0133] 图10A是投影仪300与用户的瞳孔400相对于导光板100配置于相同侧的情况。如图所示,导光板100最终反射影像光线500并到达用户的瞳孔400。因此,若导光板100b相比较于导光板100a倾斜,则根据投影的光线的波长而视觉确认的像素位置转移,画质会降低。由于视力为1.0的用户的光线角度的分辨能力为1/60度,因此,以此为基准,两张导光板的相对倾斜度需要充分地小于1/60度,相比较于现有的玻璃制,在机械强度(杨氏模量)小的塑料导光板中作为头戴式显示器的安装困难。该情况下,能够向用户提供射出衍射光栅的反射衍射效率越高则亮度越高的影像信息。

[0134] 图10B是投影仪300与用户的瞳孔400相对于导光板100配置于相反侧的情况。如图所示,导光板100最终透过影像光线500并到达用户的瞳孔400。由于入射光与射出光的角度

基本相同,因此即使存在导光板100a与100b的相对倾斜,因波长而引起的投影图像的改变原理上也不会发生。因此,在头戴式显示器中安装本实施例的塑料制导光板的情况下,优选相对于导光板100在与用户的瞳孔400相反侧(透过型的光学结构)上设置投影仪光源。

[0135] 实际上,由于在导光板内部进行全反射导光的光线角度条件受到影响,因此备注导光板100a与100b的相对倾斜度优选控制在3度左右以下的情况。该情况下,能够向用户提供射出衍射光栅102的透过衍射效率越高则亮度越高的图像信息。

[0136] <5. 视觉确认亮度提高的研究与射出衍射光栅的改善>

[0137] 在导光板100传播中的光在射出衍射光栅102中进行衍射,用FDTD法计算从导光板100射出时的衍射效率。在波长为550nm、导光板的折射率为1.58、衍射光栅的图案周期为460nm、凸部的宽度为150nm、凸部的高度为70nm的相当于投影图像的中央像素的光因入射衍射而耦合并在导光板内部全反射传递的条件下,反射衍射效率为3.5%、透过衍射效率为2.8%。凹凸图案的长宽比为0.47。与图10B相同,在射出衍射光栅102形成于与入射衍射光栅101相同的面上的情况下,用户所视觉确认的光线在射出衍射光栅102中透过衍射。因此,在图10B所示的透过型光学结构中,相比较于图10A的反射型光学机构,用户所视觉确认的投影图像的亮度降低。

[0138] 图11是用溅射法形成射出衍射光栅102上的薄膜涂层、作为ZnS-SiO₂(20%)薄膜(折射率2.33)在横轴表示该电介质薄膜的膜厚、在纵轴上表示透过衍射效率及导光板的透过率的图。

[0139] 这里,在导光板100中传播中的光由射出衍射光栅102进行衍射,用FDTD法计算从导光板100射出时的透过衍射效率。进行在波长为550nm、导光板100的折射率为1.58、射出衍射光栅102的图案周期为460nm、凸部的宽度为150nm、凸部的高度为70nm的相当于投影图像的中央像素的光因入射衍射光栅101而耦合并在导光板内部全反射传递的条件下的透过衍射效率的计算。

[0140] 如图11(a)所示,通过在射出衍射光栅102上形成电介质薄膜,可提高透过衍射效率、提供亮度高的影像信息。在重视视觉确认亮度的情况下,若使电介质膜的膜厚为70nm则透过衍射效率为7.3%,相比较于不实施表面喷涂的情况的2.8%,可实现2.5倍以上的效率提高。若使电介质膜的膜厚为170nm则透过衍射效率为9.3%,相比较于不实施表面喷涂的情况的2.8%,可实现3倍以上的效率提高。

[0141] 另外,衍射效率的提高也会表现于反射衍射效率,在形成约20nm以上的膜后的情况下,能够超过不实施表面喷涂的情况下的反射衍射效率。因此,即使在与入射衍射光栅101相同的面上形成射出衍射光栅102,也能够得到大的亮度。

[0142] 图11(b)是导光板的透过率的计算结果,与用户视觉确认外界的情况下的亮度对应。例如,在ZnS-SiO₂(20%)薄膜的情况下,在其厚度为70nm的情况下,导光板的透过率相比较于不形成电介质薄膜的情况下的约91%下降为约72%。这具有以下效果:例如在用户在室外使用本实施例的头戴式显示器时,在将强的外部光线的图像减弱为约8成(=72%/91%)的同时,通过将投影图像的亮度提高为约2.5倍(7.3%/2.8%),提高投影图像的视觉确认性。另外,若使电介质膜的膜厚为170nm,则投影图像的亮度看起来比外界更明亮。根据图11(b),在膜厚为70nm以上且170nm以下的范围内,透过率为68~80%,若考虑衍射效率提高的效果,可提高相对于外界的投影图像的相对亮度。

[0143] 一般来说,通过溅射法等形成的电介质薄膜根据装置、指标、真密度、RF(高频)电力等的成膜条件,密度、内部应力变化。在本实施例中,发明者们关于成膜的电介质薄膜使用由分光光度计得到的反射率与透过率的测量结果确定折射率。在用其他成膜方法、装置形成电介质薄膜的情况下,由于会存在折射率偏差±5%左右的情况而进行标记。

[0144] 作为适用于本实施例的薄膜材料,除了这里表示的ZnS-SiO₂(20%)以外还能够使用ZnS、AlN、SiNx、SiO、AlON、Al₂O₃等的电介质材料。

[0145] 根据本实施例,在具有表面凹凸型的衍射光栅的导光板(图像显示元件)中,通过利用溅射法在射出衍射光栅的表面上形成电介质材料等的涂层,可将射出光的衍射效率增加为4%以上。如果使用网格型的射出衍射光栅,则能够通过射出成型法等实现导光板的塑料化、能够提供安全、轻量且亮度高的导光板。

[0146] 实施例2

[0147] 在本实施例中,关于着眼于用户所视觉确认的图像的亮度分布的平滑性而改善导光板的显示性能的实施例进行表示。

[0148] <2-1. 亮度分布的平滑性的研究>

[0149] 在导光板100中传播中的光由射出衍射光栅102进行衍射,用FDTD法计算从导光板100射出时的透过衍射效率,将透过衍射效率的入射角依存表格化。使用该方法进行光线追踪,求出用户视觉确认的图像。这里,波长为635nm,导光板的折射率为1.58,衍射光栅的图案周期为460nm,凸部的宽度为150nm,凸部的高度为90nm。另外,使导光板100的厚度为1mm,射入入射衍射光栅101的影像光线的直径为4mm,使入射衍射光栅101与射出衍射光栅102之间的间距为5mm,使从导光板100至用户的瞳孔400的距离为25mm,使用户的瞳孔400的直径为3mm。

[0150] 图12是使用于计算的物体模型的一例。在塑料制的导光板100的表面上形成凹凸图案的射出衍射光栅102,在其上面以恒定的厚度形成电介质薄膜的涂层103。实际上,为在凹凸图案上近似没有倾斜角的梯形的截面形状,这里为了计算模型的简化,将理想型的矩形衍射光栅假定为截面形状。作为电介质材料,是ZnS-SiO₂(20%)的结果。图中用黑色表示的部分1200表示空气层。

[0151] 图13是计算的视觉确认图像的一例。使显示像素为1280×720像素,这里,使横向为X方向、使纵向为Y方向。入射衍射光栅的波数向量为Y方向。通过显示图像的Y方向的像素位置,影像光线的入射角以及导光板内的传播角度变化。

[0152] 图14A～图14C表示相对于Y方向的像素位置的计算结果。涂层103的材料为ZnS-SiO₂(20%)。

[0153] 图14A表示在导光板100内部传播的光线的角度、即向射出衍射光栅102的入射角。判断为若像素位置变大则入射角变小。

[0154] 图14B是透过衍射效率的计算结果。这里,关于使涂层103的膜厚为0、25、35nm的三种情况进行表示。如图所示,在未形成涂层103的情况下(厚度为0nm)下,判断为随着像素位置的增加而透过衍射效率增加。另一方面,在形成电介质薄膜的情况下,例如形成为35nm,则判断为随着像素位置的增加而使透过衍射效率减小。另外,若形成为25nm,则判断为相对于像素位置的增加相较而言透过衍射效率不变化。

[0155] 图14C是用户视觉确认的亮度的计算结果。如图所示,在未形成电介质薄膜的情况下

(厚度为0nm)下,随着像素位置的增加而亮度显著增加。另外,在电介质膜厚为35nm的情况下,中央部的亮度高,但随着像素位置的增加亮度显著减少。另一方面,在电介质膜厚为25nm的情况下,不论像素位置如何都能够提供平稳的亮度分布的图像。因此,在电介质膜厚为25nm以上且小于35nm的情况下,能实现亮度提高与平稳的亮度分布的兼具。

[0156] 根据本实施例,通过在射出衍射光栅的表面形成电介质薄膜,能够控制用户视觉确认的图像的亮度分布。在上述示例中,在电介质膜厚为25nm的情况下,可使亮度分布趋近于平稳。

[0157] <2-2.膜材料与折射率的研究>

[0158] 作为适用于本实施例的薄膜材料,除了能够使用ZnS、AlN、SiNx、SiO、AlON、Al₂O₃等的电介质材料以外,也能够使用如ZnS-SiO₂(20%)那样两种以上的电介质的混合材料。

[0159] 图15A是表示适用于本实施例的电介质材料的折射率的范围的模拟结果。由以上所示的各种电介质材料形成的涂层103的膜厚为了与ZnS-SiO₂(20%)的膜厚35nm(=0.128λ,λ=635nm)比较,在折射率上进行规范化,为相同的0.128λ。

[0160] 在图中,纵轴是将没有涂层103的情况作为1而对涉及投影图像的中央的亮度提高的透过衍射效率进行规范化的内容。如图所示,随着形成在射出衍射光栅102上的涂层103的折射率变大,透过衍射效率也增加,判断为具有提高视觉确认的图像的亮度的效果。

[0161] 图15B是将图15A的一部分放大的图。根据本实施例的电介质膜的效果,如果衍射效率为1.2倍,则在用户视觉确认相同亮度的图像的情况下,相比较于没有电介质膜的情况下能够降低光源的消耗电量的20%。若将该条件作为由本实施例产生的效果显著化的条件,则判断为只要电介质材料的折射率为1.64以上即可。

[0162] 作为适用于本实施例的薄膜材料,除了能够使用ZnS、AlN、SiNx、SiO、AlON、Al₂O₃等的电介质材料以外,也能够使用如ZnS-SiO₂(20%)那样两种以上的电介质的混合材料。作为所熟知的电介质材料,钻石是最高的折射率(2.42),如图15A所示,适用于本实施例的电介质薄膜的折射率的上限为2.42。

[0163] 图16A是表示适用于本实施例的电介质材料的膜厚范围的模拟结果。作为电介质材料为ZnS(折射率为2.355)。在图中,纵轴是将涉及投影图像的中央的亮度提高的透过衍射效率规范化的内容。如图所示,随着形成在射出衍射光栅上的电介质膜的膜厚变厚,透过衍射效率增加,判断为会有提高视觉确认的图像的亮度的效果。只要膜厚约为70nm以上,则能得到没有膜的情况的约3倍以上的衍射效果。

[0164] 图16B是平坦的基板上所形成的电介质薄膜、所谓的光学薄膜涂层的反射率的膜厚依存性。这里,与上文相同地使基板的折射率为1.58,作为电介质材料选择ZnS,计算其膜厚与反射率的关系。如图所示,判断为反射率相对于膜厚周期性地变化。这样的电介质薄膜的膜厚依存性是众所周知的。另一方面,如图16A所示,在衍射光栅上的电介质薄膜中,除了周期性以外其特征还包含相对于膜厚的增加的衍射效率的单纯增加成分的特性。这样的见解是在处理头戴式显示器的公知技术中未公开的方面,是发明者们发现的特性。

[0165] 图16C是将图16A放大的图。若通过本实施例的效果将衍射效率为1.2倍以上的条件作为由本实施例产生的效果显著的条件,判断电介质材料的膜厚只要是10nm以上即可。可是,在本实施例中,如图12所示,形成在衍射光栅上的电介质薄膜需要沿原本的衍射光栅的凹凸形状而形成,若膜厚超过凹凸图案的高度(大致100nm)的10倍(大致1000nm),则电介

质薄膜表面的凹凸形状逐渐失去而近似平坦,依存于溅射法、真空蒸镀法等的成膜工艺而确定也是公知的。因此,实现本实施例的效果的膜厚的上限是大致1000nm。

[0166] 实施例3

[0167] 在实施例3中,关于适用于入射衍射光栅101的电介质薄膜进行研究。以下说明的入射衍射光栅101是反射型衍射光栅,在该反射型衍射光栅上具备多层涂层。多层涂层通过具有交替地形成第一电介质薄膜和第二电介质薄膜的周期结构,能够得到优异的波长依存性。

[0168] 图17是每个导光板的显示图像的范围的模拟结果。这里,如图6所示,关于用两张导光板100a(短波长用)、100b(长波长用)构成的导光板的情况进行表示。就射出入射衍射光栅的间距而言,导光板100a(短波用)为360nm、导光板100b(长波长用)为460nm,显示图像的对角视野角度为35度,长宽比为16:9。如图17表示显示图像那样,判断为各导光板的图像的显示范围(图中用白色部分表示)不同。

[0169] 在这样的结构中,一般若使显示图像的颜色为R(红色)G(绿色)B(蓝色),则导光板100a有助于B图像(蓝色显示图像)与G图像(绿色显示图像)的一部分显示,导光板100b有助于G图像(绿色显示图像)的一部分与R图像(红色显示图像)的显示。判断为优选设置于图6中的导光板100a的入射衍射光栅101a以大的衍射效率反射衍射B波长(蓝色波长)、以比其小的衍射效率反射衍射G波长(绿色波长)、几乎透过R波长(红色波长)。这意味着能实现衍射效率强的波长依存性。

[0170] 一般来说,作为反射这样的短波长的光线且透过长波长的光线的光学元件所熟知二向色薄膜,能够由形成在透明基板上的电介质多层薄膜实现。可是,如图16A所示,形成于表面凹凸衍射光栅上的电介质薄膜表示与一般的光学薄膜不同的膜厚依存性。这里,关于适于形成在入射衍射光栅上的电介质薄膜的条件进行表示。导光板100a(短波长用)的主要的性能参数是一次反射衍射效率与透过率。

[0171] 图18表示本实施例的图像显示元件的其他结构。这里,图像显示元件10由两张导光板100a、100b构成,分别形成入射衍射光栅101a、101b、射出衍射光栅102a、102b。入射衍射光栅101a、101b是直线状或格子状的表面凹凸型的衍射光栅。射出衍射光栅102a、102b的图案周期分别与入射衍射光栅101a、101b相同。

[0172] 在射出衍射光栅102a、102b的表面分别形成涂层103a、103b。导光板100a、100b分别具有不同的图案周期P1、P2,对应的波长范围不同,在P1<P2的情况下,导光板100a主要在彩色图像的波长范围中的短波长侧的显示上发挥功能,导光板100b主要在长波长侧的显示上发挥功能。在图18中,与图6的结构上的差异在于在入射衍射光栅101a、101b上也用电介质膜形成涂层104a、104b的方面。

[0173] 图19是表示反射型的入射衍射光栅101的截面形状的示意图。如图9所示,在本实施例的导光板中适用反射型的入射衍射光栅。这里,说明使截面形状为高度五级的阶梯状的凹凸型衍射光栅。图中,将凹凸形状的最高点低的点设为z=0,x方向为衍射光栅的周期方向。衍射光栅的间距为P,光线的波长为λ。

[0174] 从纸面下侧入射的入射光1901向纸面右下方向反射一次并衍射,成为衍射光1902。如图中所示,仅以间距P偏离入射的入射光1901在衍射方向上分别具有 1λ 的光路差。由于这些衍射光的相位差全部是 $1\lambda (=2\pi)$,因此通过互相加强而向特定的方向(周期P与波

长 λ 对应的方向)衍射。这是众所周知的衍射的基本原理。为了研究适于本实施例的入射衍射光栅101的电介质涂层,在衍射光栅的高度z方向上扩大该基本原理。

[0175] 图20是用于研究适于本实施例的电介质涂层的示意图。如上述,相对于衍射光1902,入射衍射光栅101的间距P与应选择的波长 λ 对应而确定。图中的虚线是周期性地扩大高度被调制的衍射光栅的形状的内容。在x方向上仅偏移一周期P的点的高度仅以H不同。这里,将H定义为入射衍射光栅101的周期高度。从虚线状形状的假想衍射光栅中也同样地会发生相同角度的衍射光,相对于衍射光,衍射光栅的周期高度H与波长 λ 对应。

[0176] 若使实际的衍射光栅的最大高度为h,则在该示例中为 $H=5h/4$ 。适于本实施例的入射衍射光栅101的电介质涂层至少使用折射率高的材料(折射率n1、膜厚d1)与折射率低的材料(折射率n2、膜厚d2)的两种,在衍射光栅上交替地层叠这两种材料。此时,在比衍射光栅表面靠z方向上侧形成反映衍射光栅的表面凹凸形状的电介质层。适于本实施例的条件为 $d_1+d_2=H$ 。此时,电介质层沿图20中的虚线形成边界,从这些中产生的衍射光1902的相位差能以 2π 加强。这是本实施例的形成在入射衍射光栅上的电介质涂层的基本概念。

[0177] 图21是总结衍射光栅的周期高度H与一周期高度形状的关系的图。如这里所示,在高度5、4、3、2级的阶梯状衍射光栅、及炫耀型衍射光栅、一般形状的衍射光栅中,周期高度H作为图中所示的值进行定义。如图所示的等宽度的阶梯状衍射光栅的情况下,若高度为N级、最大高度为h,则:

$$[0178] H = (N/H-1) h.$$

[0179] 在炫耀型衍射光栅中,如图所示,基于主炫耀面的倾斜度将高度在1周期上扩大后得到的是周期高度H。所谓的炫耀角度为 θ_B 。此时,为

$$[0180] H = \{(p_1+p_2)/p_1\} h.$$

[0181] 即使是一般形状的衍射光栅也相同,通过基于平均倾斜度确定炫耀角度 θ_B ,若使衍射光栅周期为P,则为

$$[0182] H = P \cdot \tan \theta_B.$$

[0183] 图22A是表示本实施例的入射衍射光栅101的截面形状的模拟模型。表示通过注塑成型法等在塑料基板上作为表面凹凸形成高度三等级的衍射光栅的情况。图中的辅助线表示上文表示的高度方向的等相位线610,通过基于衍射光栅的周期性在图中X方向上向右移动一个周期,等相位线610与凹凸图案在Z方向上的距离如H、2H、3H那样以一个个周期高度H等间隔地变大。在本模型中,衍射光栅的高度h为100nm,周期为360nm。构成入射衍射光栅101的塑料基板的折射率使基板为聚碳酸酯而为1.58,周期高度H为150nm。图中黑色部分是空气层(Air)。

[0184] 图22B是表示本实施例的入射衍射光栅101的截面形状的模拟模型。这里,表示在入射衍射光栅101上如221-1、222-1、221-2、222-2、221-3那样交替地依次形成高折射率的第一电介质膜221(折射率n1,厚度d1)与低折射率的第二电介质膜222(折射率n2,厚度d2),层叠五层电介质薄膜的情况。这里为 $n_1 > n_2$ 、 $d_1+d_2=H$ 。通过这样的条件,通过电介质层形成于z方向上的衍射光栅组能够在等相位面610a、610b、610c等上排列而形成。如上述,从这些衍射光栅组中产生的衍射光进行相位整合,能够得到大的衍射效率。在模拟中,作为第一电介质膜221选择ZnS-SiO₂(20%), $n_1=2.33$ 、 $d_1=55$ nm,作为第二电介质膜222选择SiO₂, $n_2=1.47$ 、 $d_2=95$ nm。衍射光栅的间距与选择的波长(这里为蓝色光)对应地确定。

[0185] 图23A作为参考是在高度3等级的入射衍射光栅101上将Al膜231层叠100nm的情况的模拟模型。

[0186] 图23B作为参考是在炫耀型的入射衍射光栅101上将Al膜231层叠100nm的情况的模拟模型。

[0187] 图24A是在图22B所示的本实施例的高度3等级的衍射光栅上形成五层电介质薄膜的入射衍射光栅的一次反射衍射效率与透过率的模拟结果。这里,计算相当于显示图像的中央的入射角0度的情况。如图所示,一次反射衍射效率在G(绿色,530nm)波长带中从B(蓝色,460nm)波长带变大,在R(红色,640nm)波长带中为零,最大的波长带在B波长带中约为80%。另外,透过率在B波长带中为20%左右,在R波长带中为80%以上,判断为能够提供适于图18中说明的短波长用的导光板100a的波长依存性。

[0188] 图24B是在图23A所示的高度3等级的衍射光栅上形成Al薄膜的入射衍射光栅的模拟结果。B波长带的衍射效率约为50%,透过率在全波长区域中几乎为零。

[0189] 图24C是在图23B所示的炫耀型衍射光栅上形成Al薄膜的入射衍射光栅的模拟结果。B波长带的衍射效率约为50%,透过率在全波长区域中几乎为零。

[0190] 如以上,通过本实施例可判断为在层叠电介质膜的入射衍射光栅中可实现将比形成Al反射膜的炫耀型衍射光栅大的衍射效率、在长波长带中大的透过率同时成立。这是适于导光板的入射衍射光栅的性能特性。

[0191] 图25是相对于图22的电介质薄膜、总厚度(d_1+d_2)从周期高度H偏离的情况的模拟结果。这里表示改变第二电介质膜222的膜厚 d_2 、计算B波长带的一次反射衍射效率的结果。轴是 $(d_1+d_2)/H$,该值为1的情况下为相位整合的条件。如上述,在入射衍射光栅中形成Al反射膜的情况下衍射效率约为50%。若将能得到比该效率大的衍射效率的条件定义为使本实施例的效果显著化的条件,则判断为 $(d_1+d_2)/H$ 的范围大概为0.7~1.3的范围。即, $0.7H < d_1+d_2 < 1.3H$ 。

[0192] 如上述,在本实施例的多层电介质涂层中衍射光栅的周期高度H相当于光线的相位 2π (360度)。因此,这里表示的条件范围可以说相位差相当于 $\pm 110^\circ$ 、即使对照波动重合的条件也会成为合理的结果。

[0193] 以上,关于短波长用的导光板100a进行说明,但即使相对于长波长用的导光板100b,通过根据选择衍射光栅的间距的波长(例如,红色光)而确定,也能够得到相同的效果。

[0194] 图26是表示将本实施例的电介质薄膜层叠13层的情况下膜形状的示意图。如上述,在通过真空蒸镀法、溅射法等在塑料形成的入射衍射光栅101上依次层叠第一电介质膜221与第二电介质膜222的情况下,在由形成于塑料基板的表面的凹凸图案构成的衍射光栅中,在其侧壁也层叠一定量的电介质材料。由此,在纸面下侧一层与纸面上侧一层上慢慢地改变电介质膜的形状。因此,在本实施例的电介质膜中,在其总厚度上有上限。其上限值相对于凹凸图案的高度为10倍左右,如上述,约为1000nm。另外,关于膜厚的最小值若使电介质膜为3层、周期高度H=5nm、 $d_1=2nm$ 、 $d_2=3nm$,则由于为7nm,因此与上述相同可以将大约10nm作为最小值。

[0195] 图27是表示在入射衍射光栅101上设置涂层104、未在射出衍射光栅102上设置的图像显示元件的示例的图。在入射衍射光栅101上能够得到电介质膜的效果。

[0196] 实施例4

[0197] 图28是利用塑料成型技术中在图1所示的导光板两面上一体成型衍射光栅的方法的示意图。纳米压印法、蚀刻法等的现在使用的技术的导光板制作是基于半导体技术的表面加工技术。另一方面,注塑成型法等的塑料成型技术由于是通过向模具内部导入树脂凝固而得到的立体成型技术,因此在导光板两面上形成衍射光栅是容易的。

[0198] 图中,用将应形成的衍射光栅的表面形状凹凸反转的形状在模具的固定部710上固定在表面所具有的压模700。使用这样的模具,从树脂流路730注入熔融的树脂740,并且,通过向图中右方向移动模具可动部720,通过施加压力而使树脂740成型为沿空腔750的形状的形状,并且,经过冷却过程可制作所期望的导光板。本方法是一般的方法,能够用塑料制作衍射光栅作为凹凸形状而形成的导光板。

[0199] 实施例5

[0200] 图29是表示本实施例的图像显示装置的结构的示意图。

[0201] 在该图像显示装置中,将塑料作为导光板100的材料而使用。如图9中所说明,在衍射效率高的入射衍射光栅中,由于长宽比大的图案难以制作,因此将长宽比能够低的反射型衍射光栅作为入射衍射光栅101使用。反射型的入射衍射光栅由于向导光板100内部反射光,因此入射衍射光栅101配置于导光板100的影像光线的入射面(第一面)的相反侧的面(第二面)上。

[0202] 在使用多个导光板100的情况下,如图10A、图10B中所说明,为了减小视觉确认的像素位置的偏差,如图29,优选向与光线的入射面(第一面)相反侧(第二面)射出光的透过型的光学结构。

[0203] 如先前所述,作为导光板100,通过用户视觉确认一次反射衍射支配的光的结构,能够以低的长宽比提高视觉确认亮度,因此,在重视衍射效率的情况下,射出衍射光栅可以以一次反射衍射光向第二面射出的方式配置于第一面。可是,由于在基板的两面上制作衍射光栅其工艺复杂,因此,在本实施例中,射出衍射光栅102也制作于相同的面(第二面),成为向第二面射出一次透过衍射光的结构。

[0204] 在该情况下,在视觉确认亮度的方面是不利的,因此用于提高亮度的结构是重要的。在本实施例中,通过在衍射光栅上形成电介质膜而提高衍射效率。作为具体的结构,只要在入射衍射光栅101与射出衍射光栅102中的至少一个上具有膜就最终能够期待亮度的提高。在本实施例中,与图6相同,在射出衍射光栅102上形成涂层103。另外,如图27所示,也可在入射衍射光栅101上形成涂层104。或者,如图18所示,也可在入射衍射光栅101与射出衍射光栅102两者上形成涂层103、104。在以上的像素显示元件的结构中,在入射衍射光栅中需要提高反射衍射效率,在射出衍射光栅中需要提高透过衍射效率。

[0205] 作为入射衍射光栅101的结构例,在图22B中说明的多层电介质膜波长选择性优异而是有效的。另外,作为射出衍射光栅102的结构例,图3所示的格子状的衍射光栅能以低的长宽比得到高的衍射效率。

[0206] 当然,图像显示元件的结构并不限于上述结构,入射衍射光栅与射出衍射光栅的结构也考虑多种形式。在那样的情况下,也通过根据入射衍射光栅与射出衍射光栅各自所需要的反射衍射效率与透过衍射效率而控制所形成的膜的特性,能够提高衍射效率且提高亮度。

[0207] 从图中的投影仪300射出的具有图像信息的光通过导光板100a、100b的作用到达用户的瞳孔400，实现增强现实。在各导光板100a、100b中，形成的衍射光栅的间距与深度是根据各色而最优化的尺寸。

[0208] 图中，本实施例的图像显示装置由图像显示元件10、投影仪300、及显示图像控制部2901构成。另外，作为图像形成的方法，例如能够使用由反射型或透过型的空间光调制器与光源透镜构成的图像形成装置、由有机以及无机EL(Electro Luminescence)元件阵列与透镜形成的图像形成装置、由发光二极管阵列与透镜形成的图像形成装置、将光源、半导体MEMS镜像阵列与透镜组合而成的图像形成装置等的众所周知的图像形成装置。

[0209] 另外，也能够使用通过MEMS技术、PZT等使LED、激光光源与光纤的前端进行共振运动的结构。在这些中，最一般的装置是由反射型或透过型的空间光调制器与光源透镜构成的图像形成装置。这里，作为空间光调制装置能够举出LCOS(Liquid Crystal On Silicon)等的透过型或反射型的液晶显示装置、数字微镜装置(DMD)，作为光源既能够将白色光源进行RGB分离而使用，也能够使用各色对应的LED、激光。

[0210] 而且，反射型空间光调制装置能够作为由液晶显示装置、及将来自光源的光的一部分反射并向液晶显示装置引导且使由液晶显示装置反射的光的一部分通过而向使用透镜的准直光学系统导入的偏振光构成的结构。作为构成光源的发光元件能够举出红色发光元件、绿色发光元件、蓝色发光元件、白色发光元件。像素的数量只要基于图像显示装置要求的方式决定即可，作为像素数量的具体值，除了上面表示的 1280×720 以外，还能够举出 320×240 、 432×240 、 640×480 、 1024×768 、 1920×1080 。

[0211] 在本实施例的图像显示装置中，包含从投影仪300射出的影像信息的光线以向导光板100a、100b的各入射衍射光栅照射的方式进行定位，与图像显示元件10一体化地形成。

[0212] 另外，未图示的显示图像控制部控制投影仪300的动作，起到适当地向用户的瞳孔400提供图像信息的功能。

[0213] 在以上说明的实施例中，在具有表面凹凸型的衍射光栅的导光板(图像显示元件)中，例如作为射出衍射光栅使用网格型的衍射光栅，通过用注塑成型法等用与导波路相同的折射率的材料一体成型，实现导光板的塑料化，能够实现安全且轻量的导光板。即，通过使用网格型衍射光栅，可用注塑成型法制作长宽比为1以下的表面凹凸且具有良好性能的导光板，能够实现因导光板的塑料化而带来的安全性的提高与轻量化。

[0214] 在本实施例中，关于向用户提供图像信息的情况进行表示，但本实施例的图像显示装置除此以外还可具备用户用于获取外界信息的接触式传感器、温度传感器、加速度传感器等各种传感器、用于测量用户的眼睛的动作的追踪机构。

[0215] 符号说明

[0216] 100—导光板，101—入射衍射光栅，102—射出衍射光栅，300—投影仪。

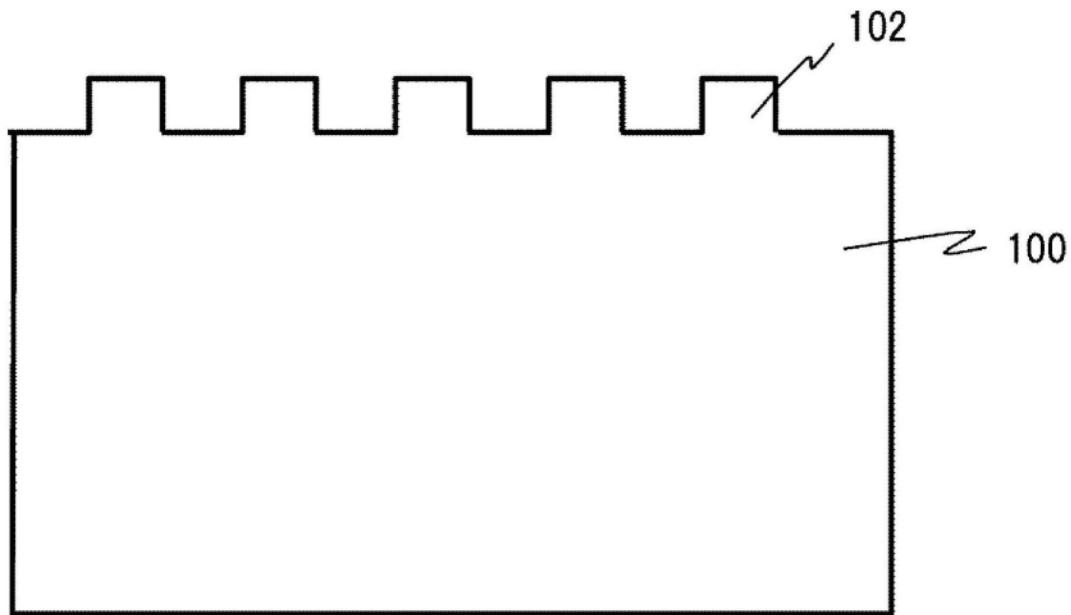


图1A

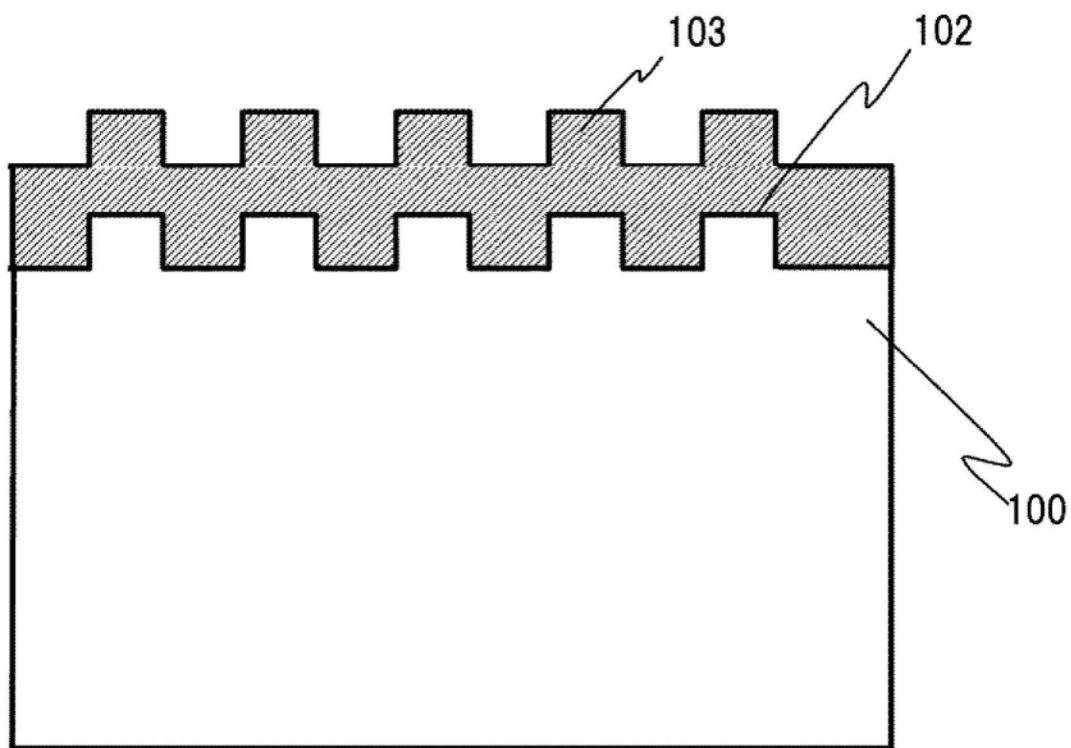


图1B

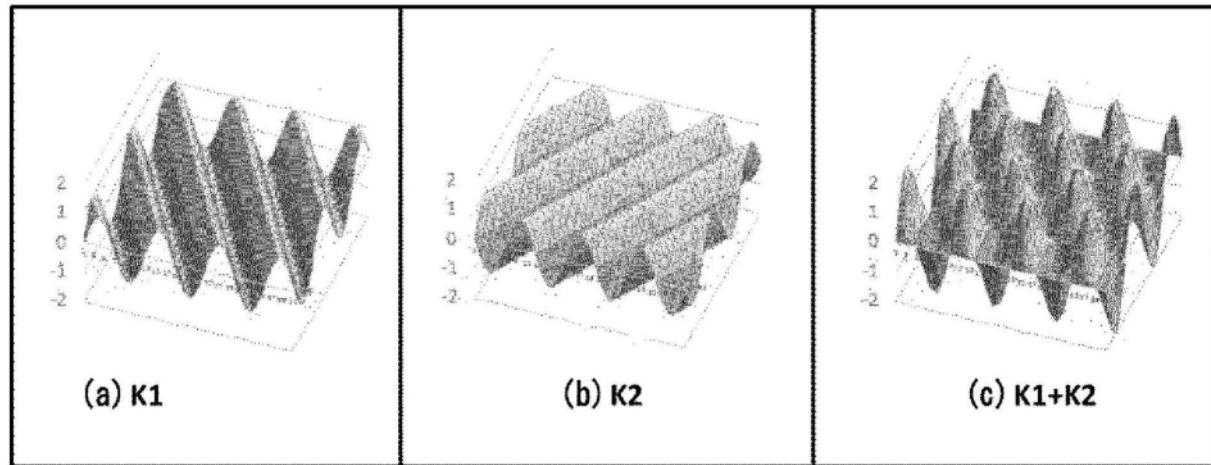


图2

102

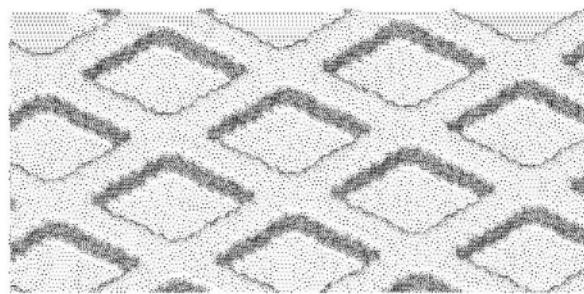


图3

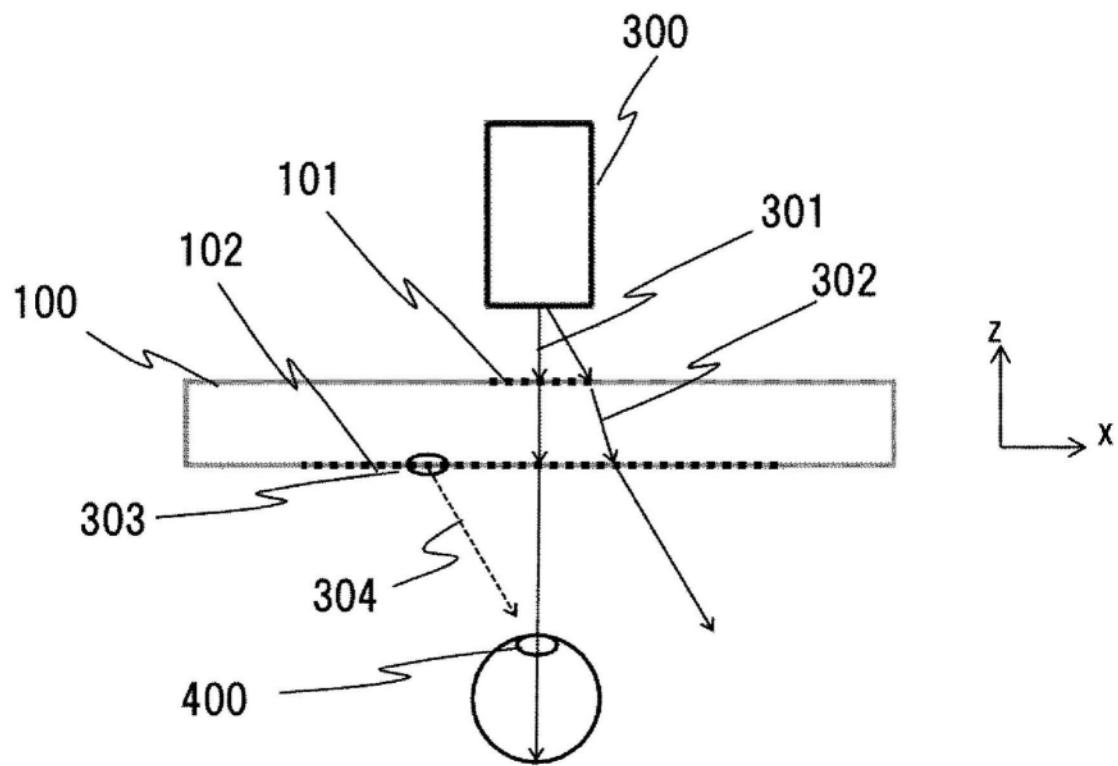


图4

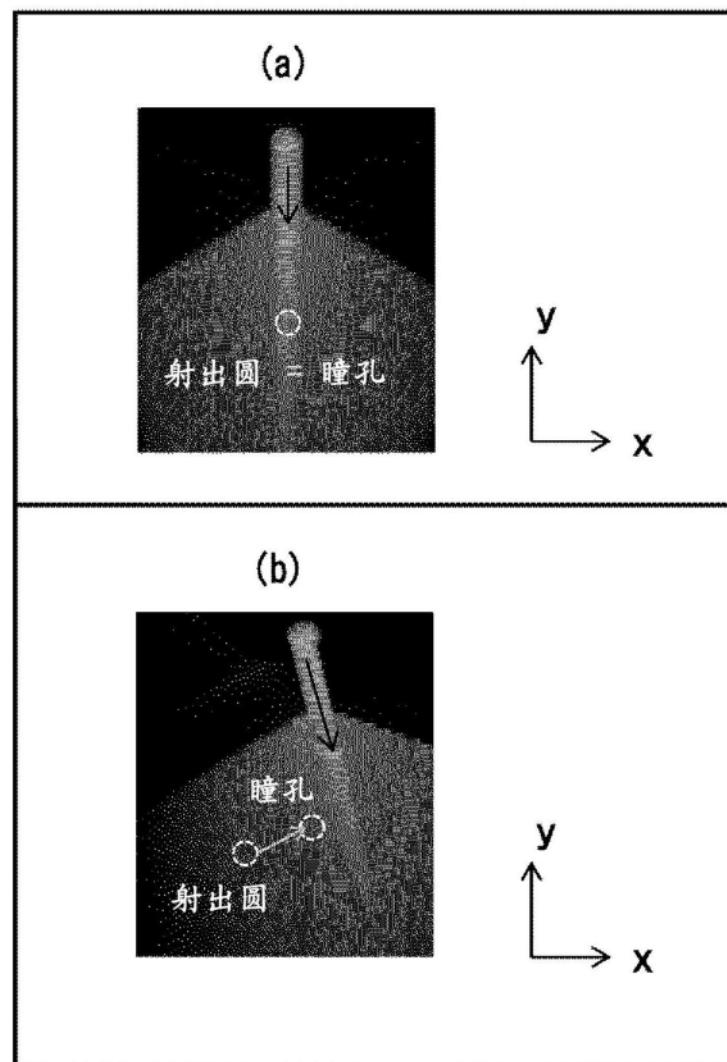


图5

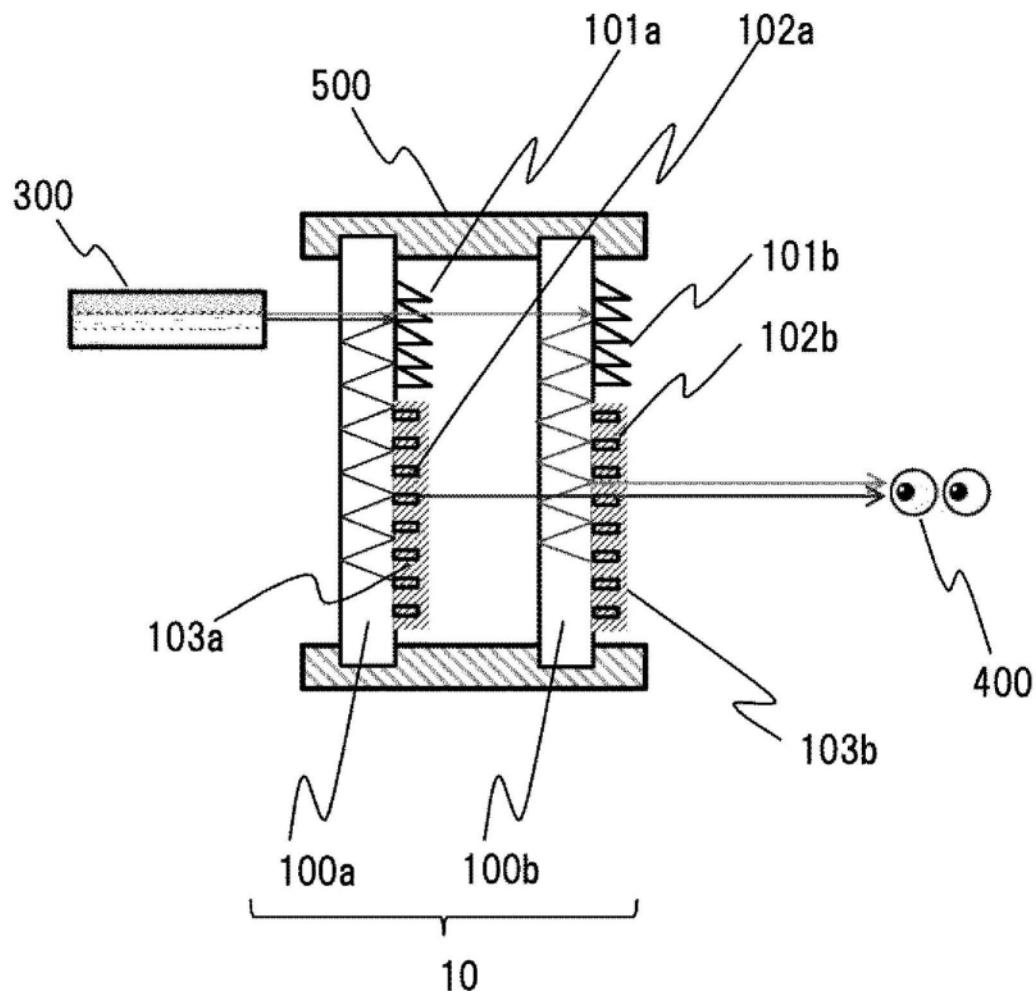


图6

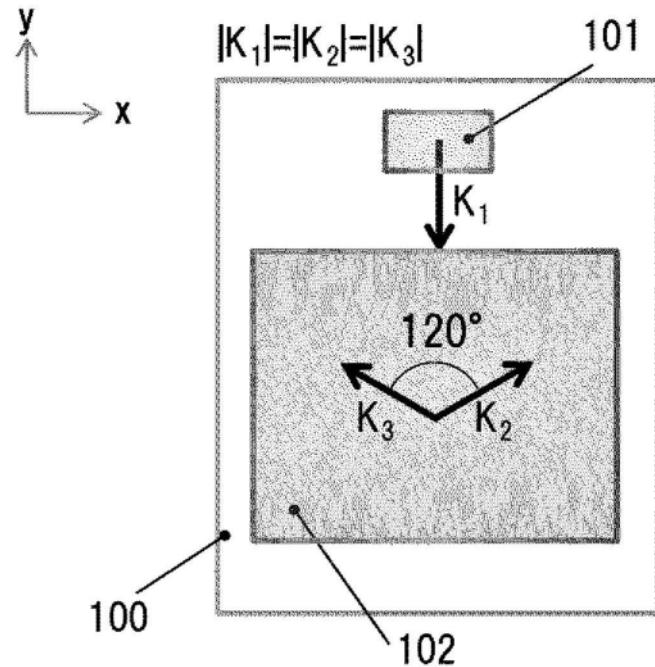


图7

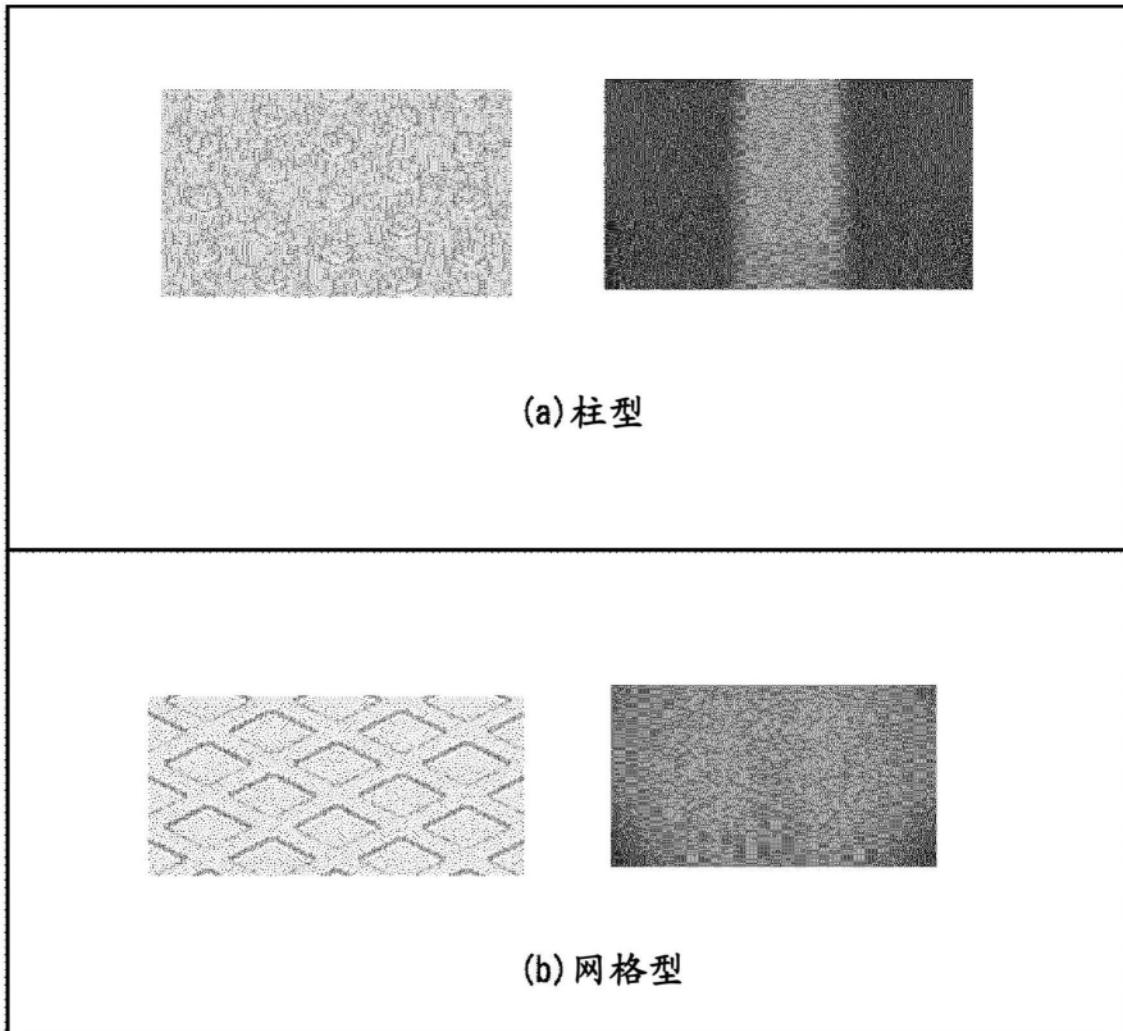


图8

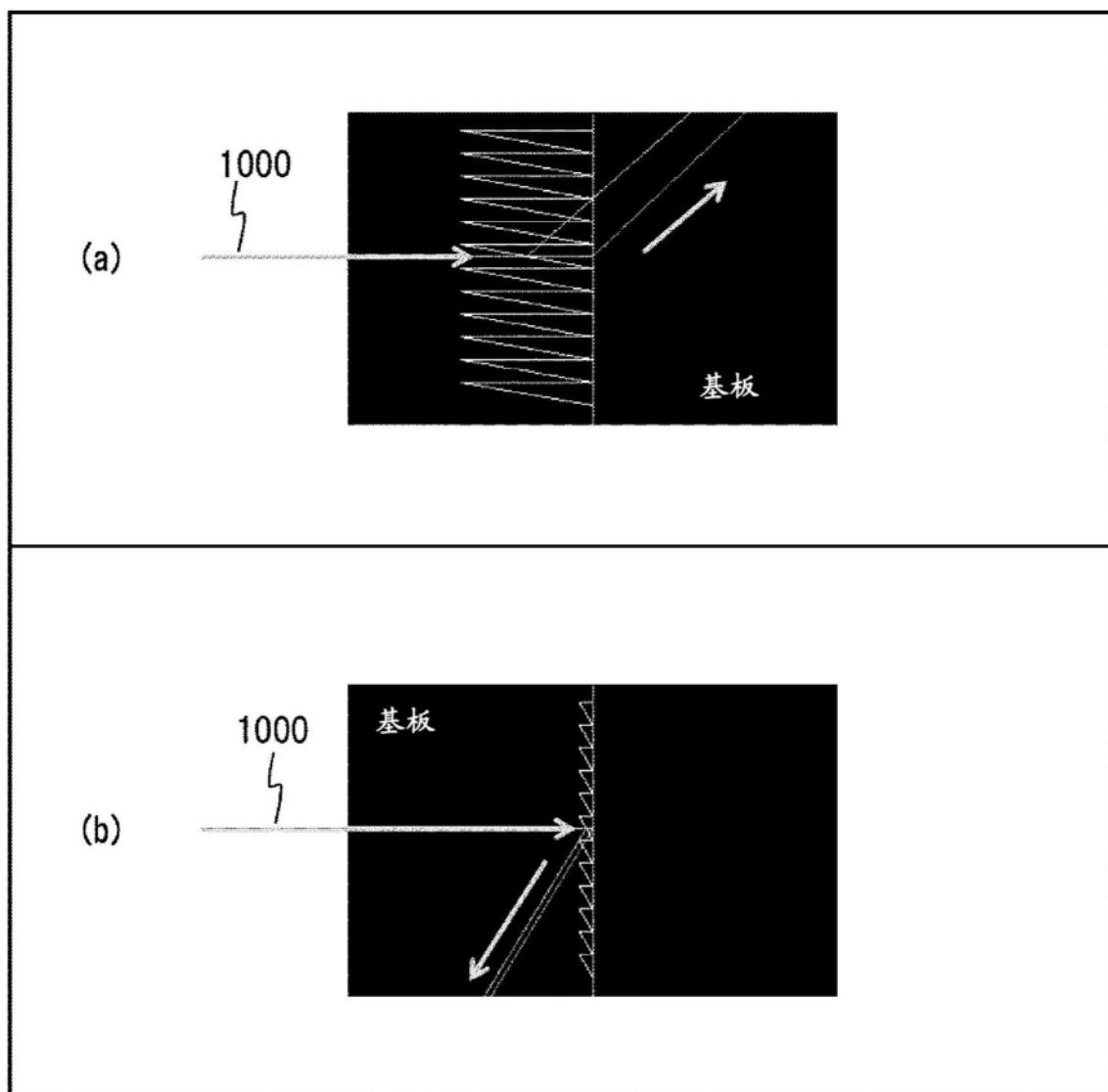


图9

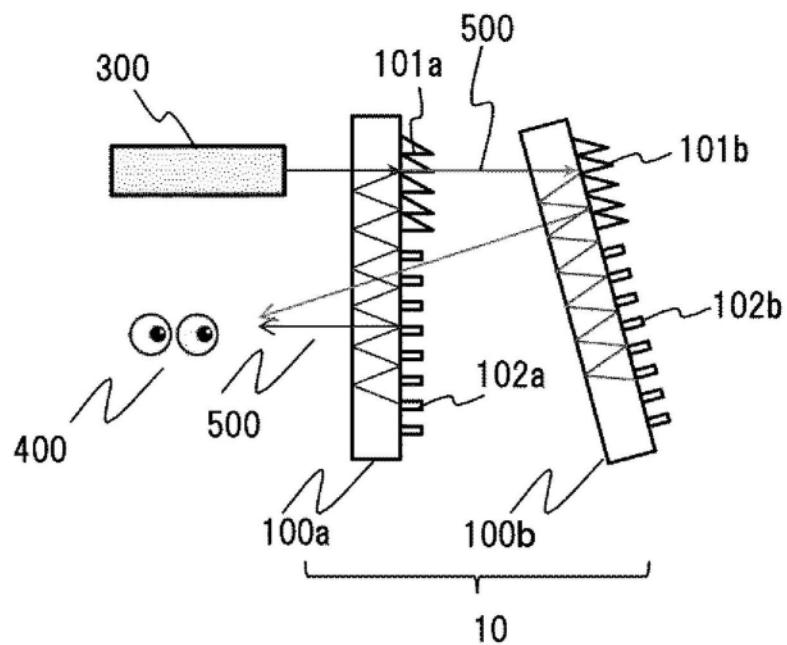


图10A

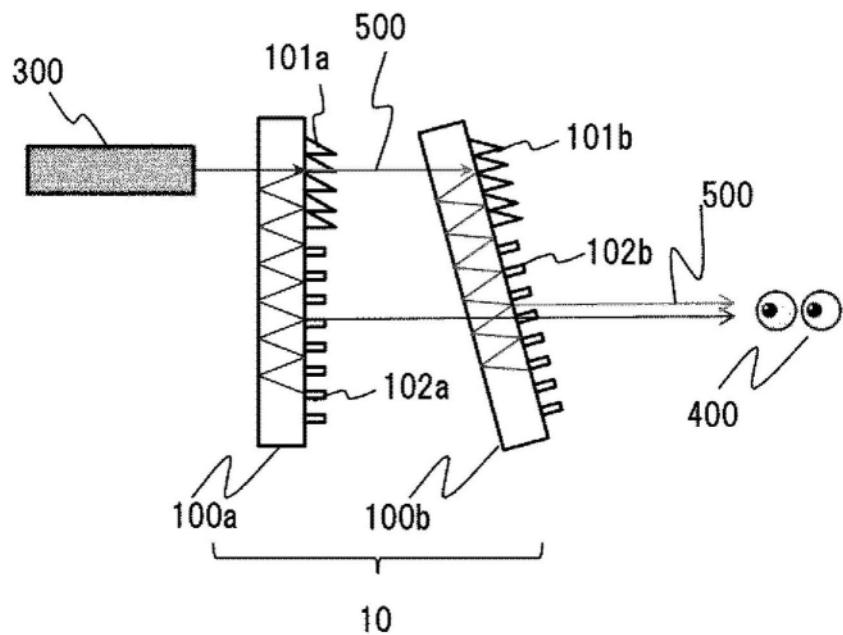


图10B

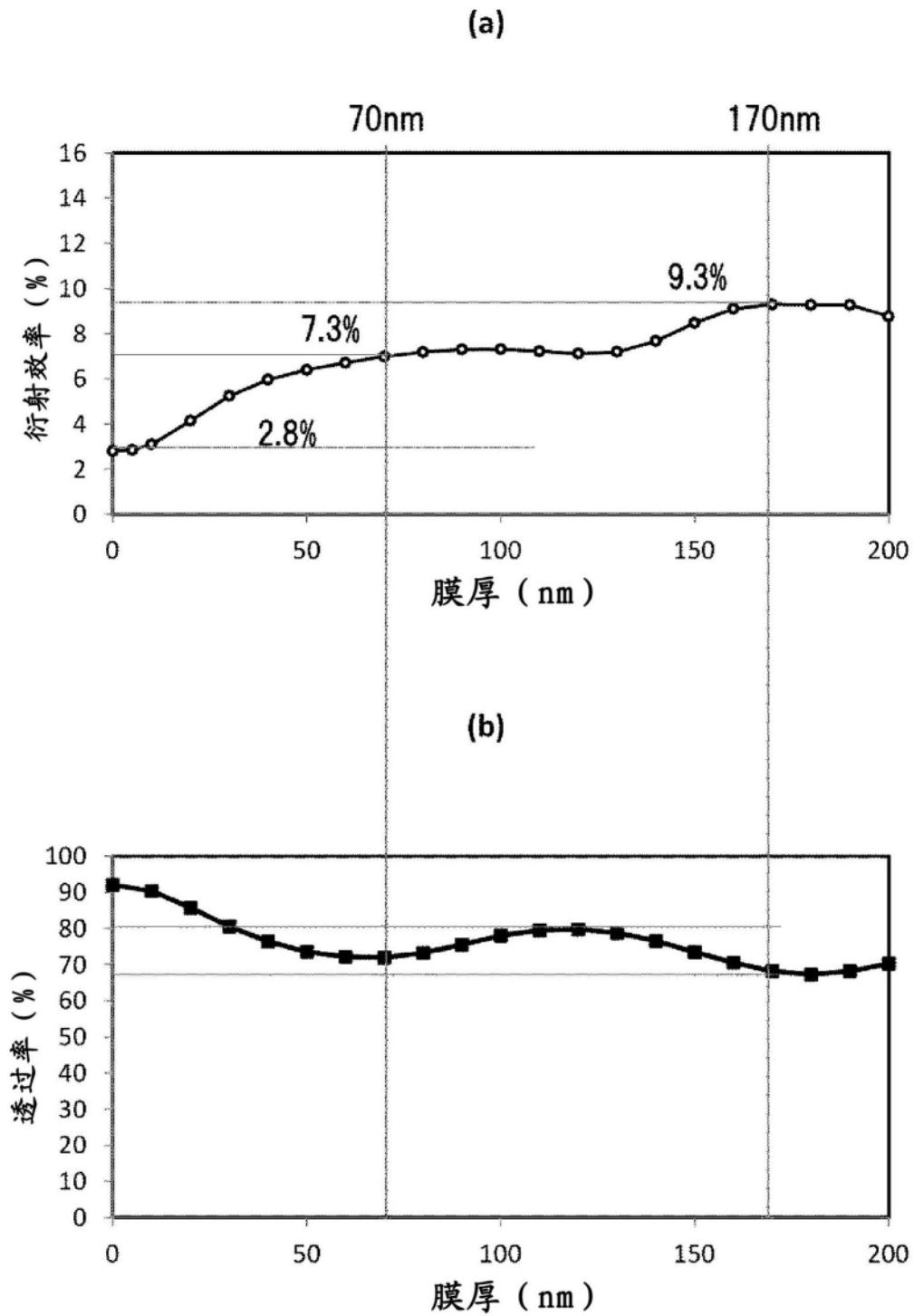


图11

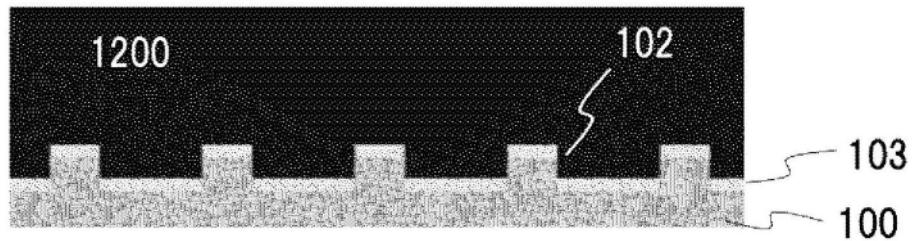


图12

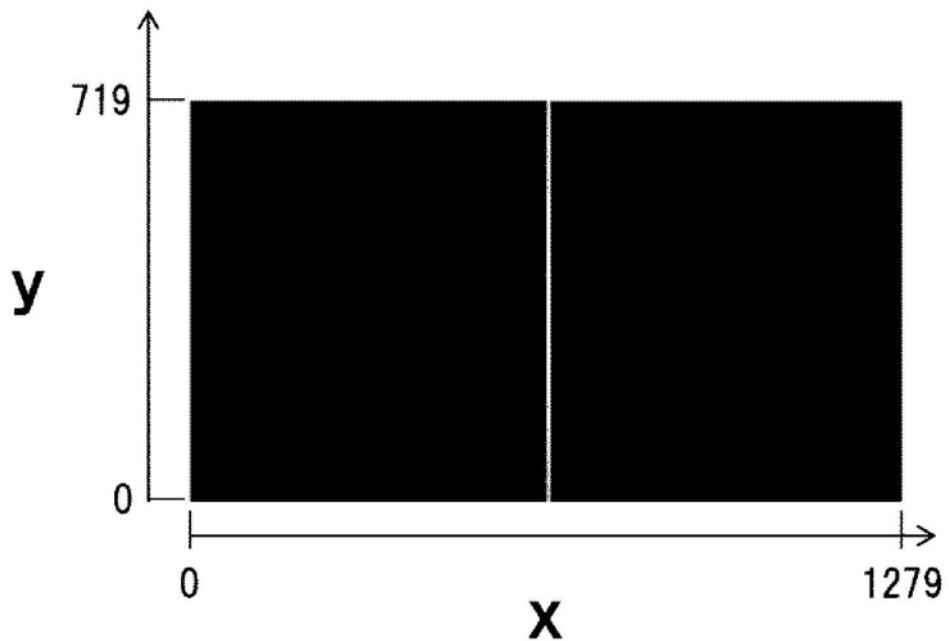


图13

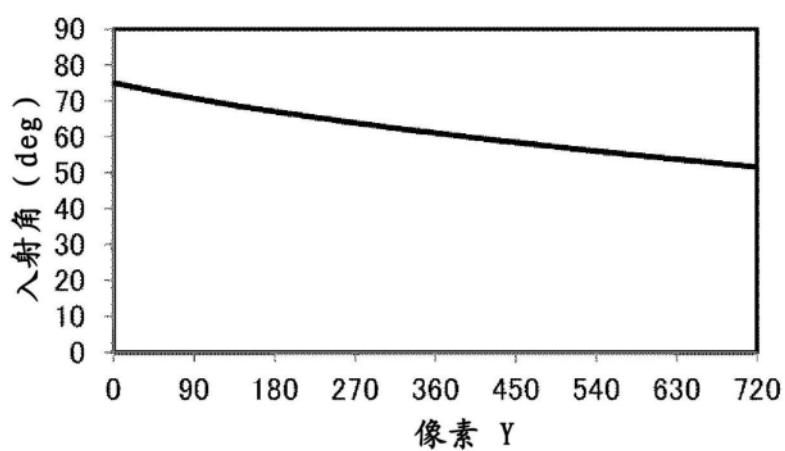


图14A

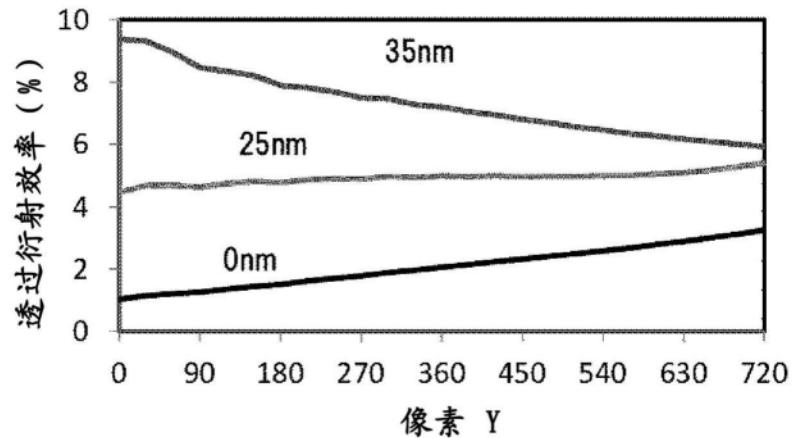


图14B

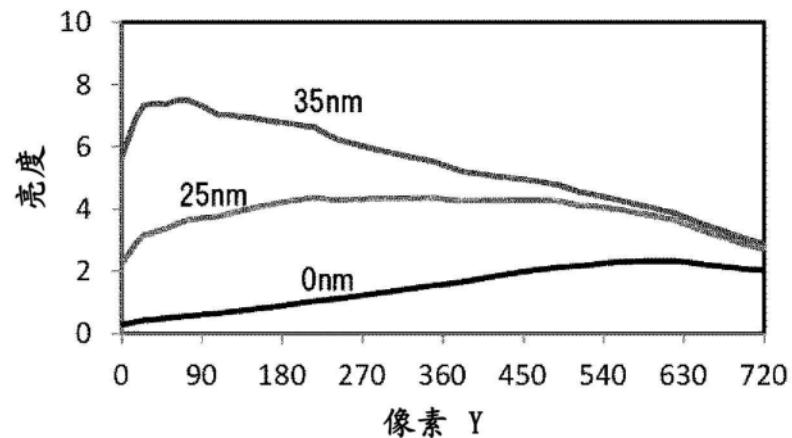


图14C

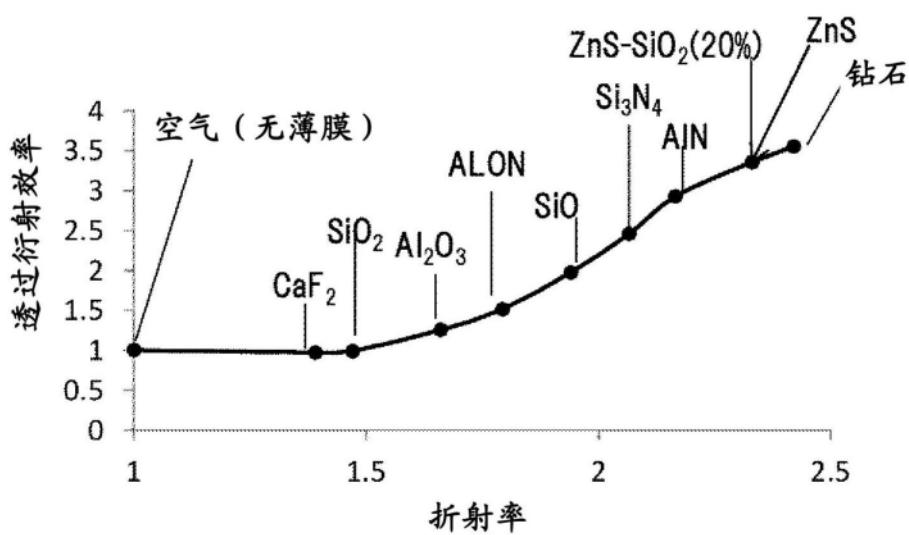


图15A

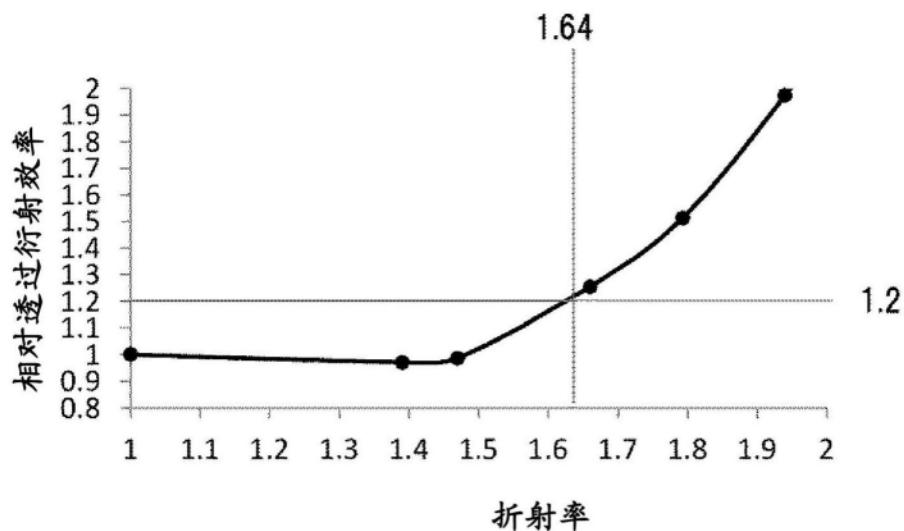


图15B

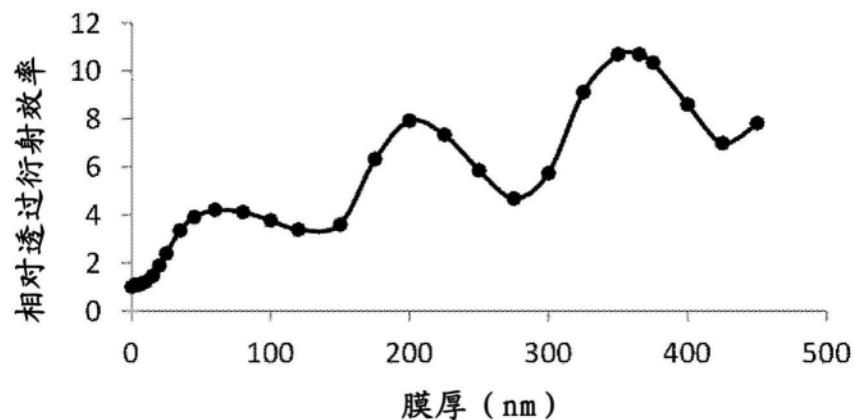


图16A

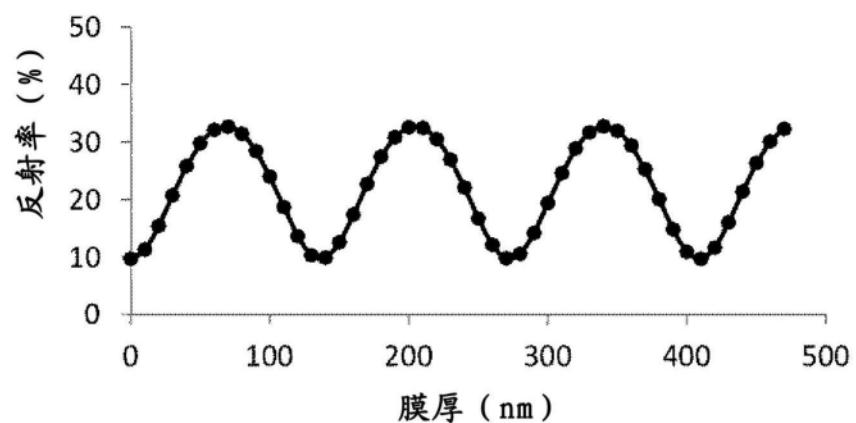


图16B

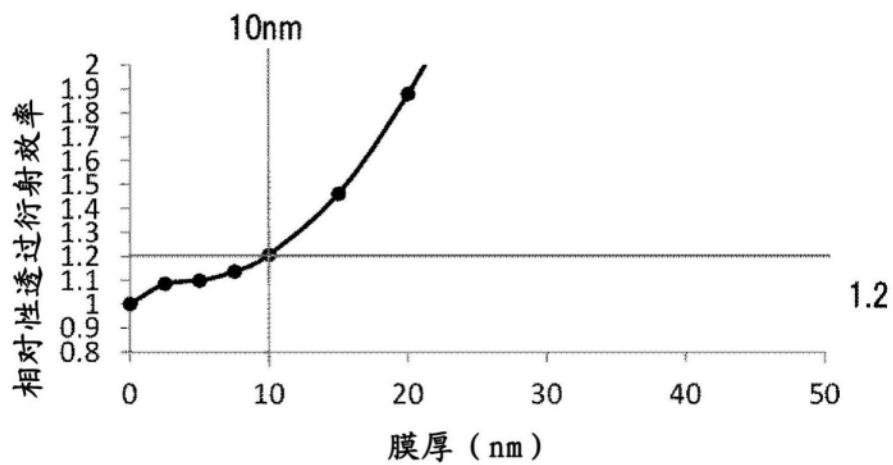


图16C

颜色	导光板100a (短波长)	导光板100b (长波长)
B (蓝色)		
G (绿色)		
R (红色)		

图17

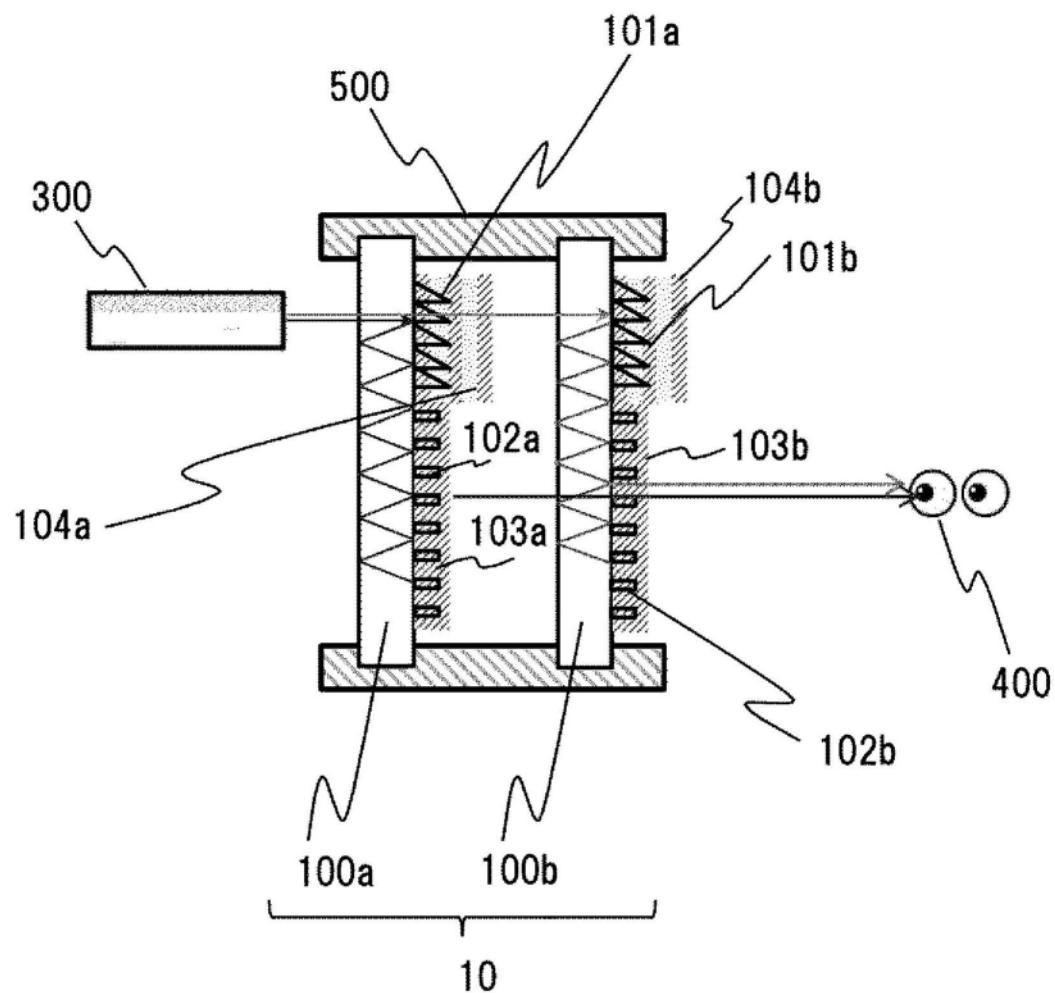


图18

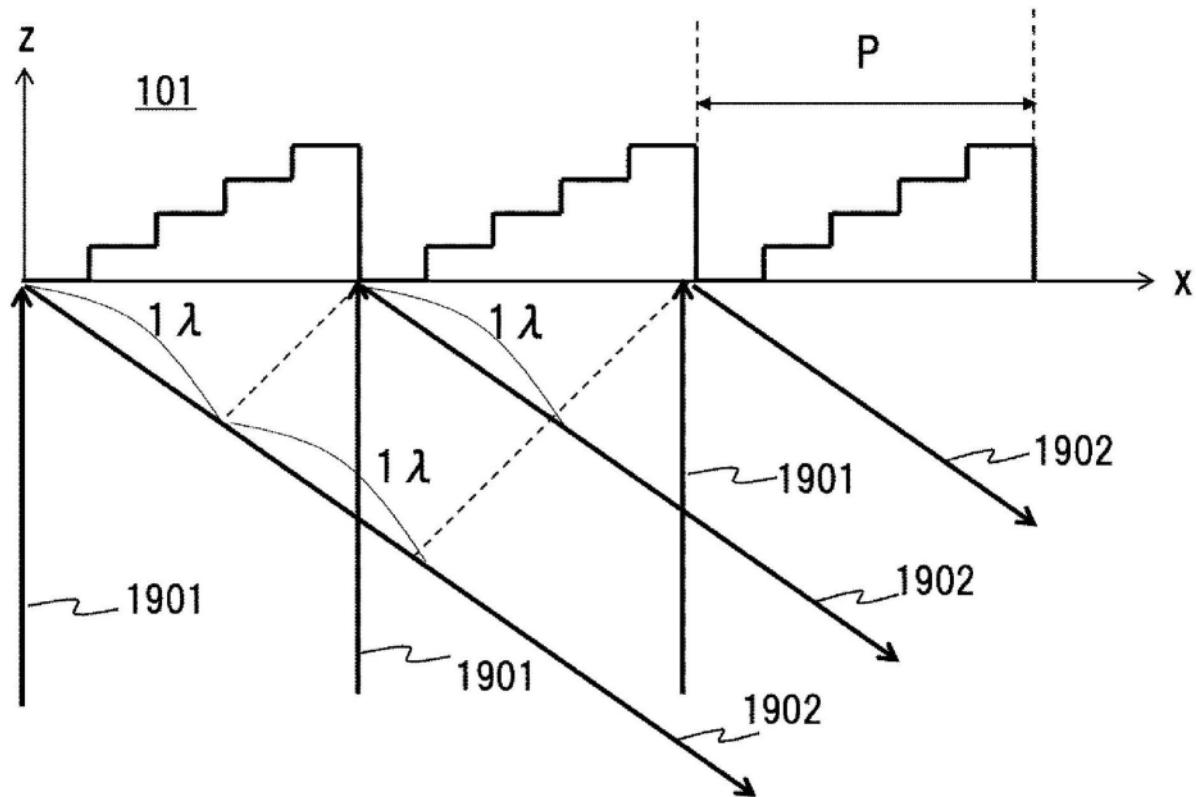


图19

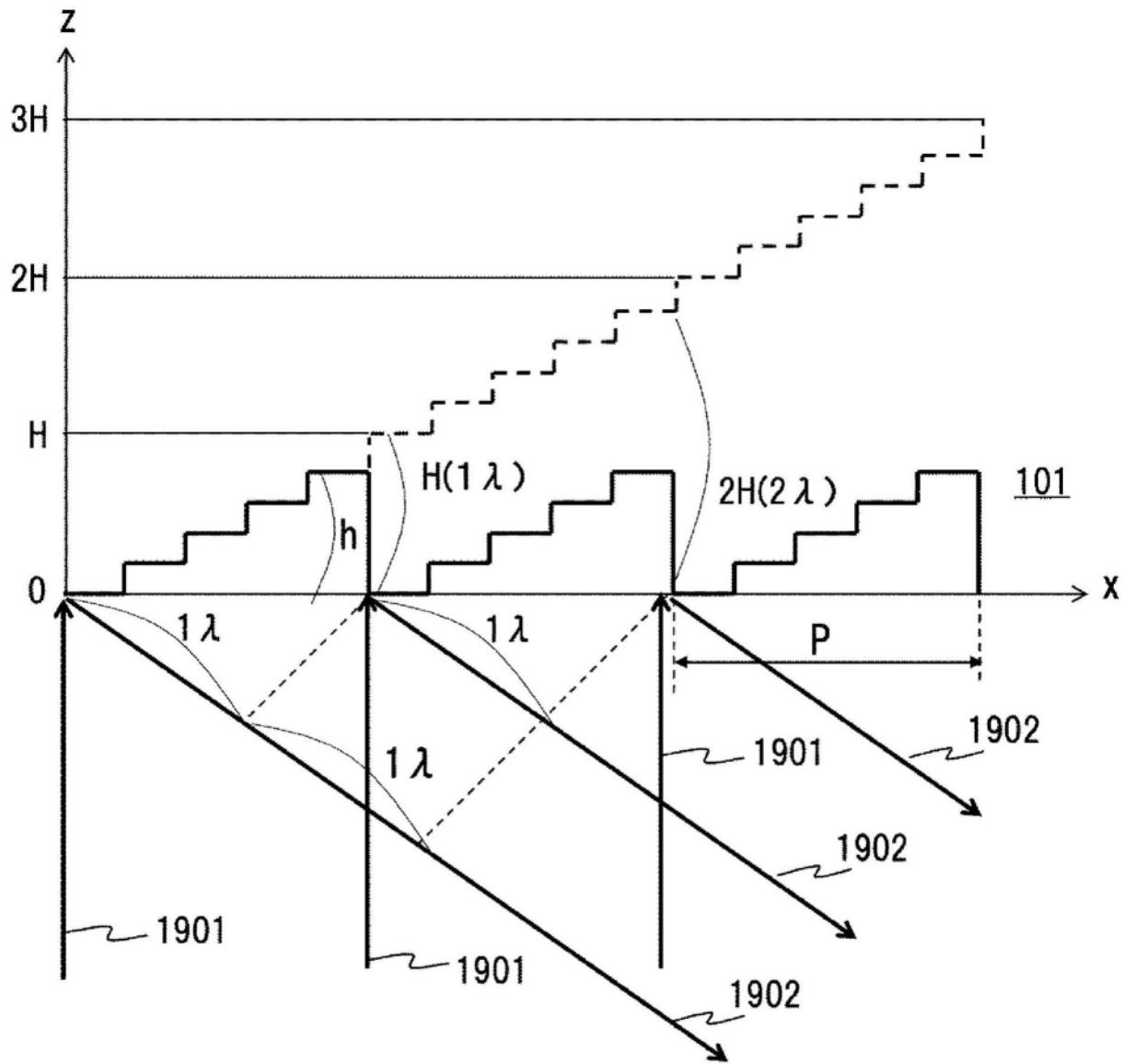


图20

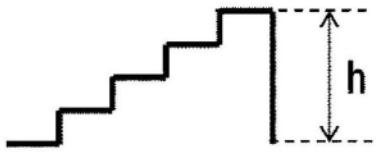
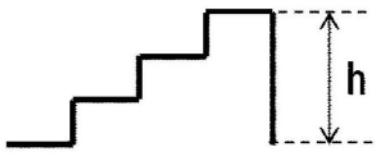
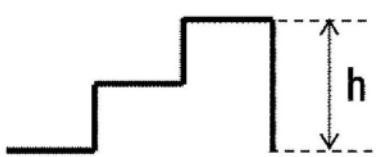
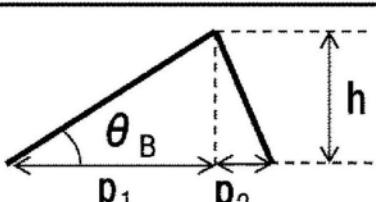
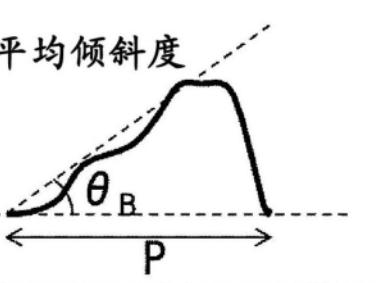
衍射光栅	形状	周期高度H
高度五级		$H = \frac{5}{4}h$
高度四级		$H = \frac{4}{3}h$
高度三级		$H = \frac{3}{2}h$
高度二级		$H = 2h$
炫耀型		$H = \frac{p_1 + p_2}{p_1}h$ or $H = (p_1 + p_2)\tan\theta_B$
一般形状		$H = P \tan\theta_B$

图21

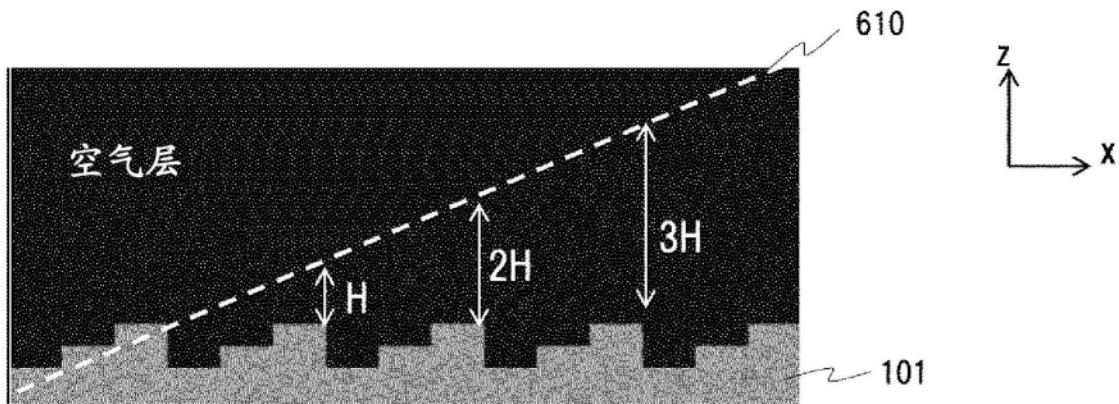


图22A

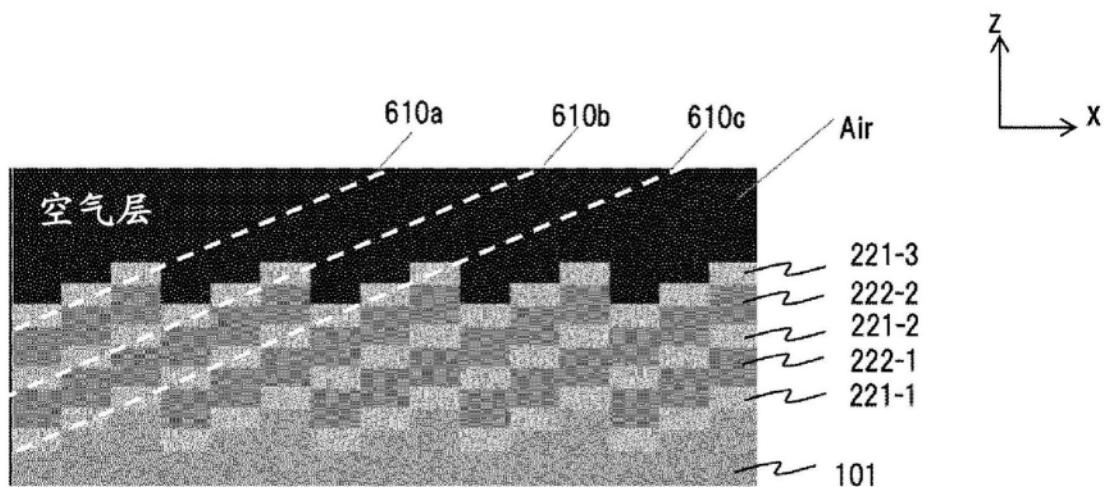


图22B

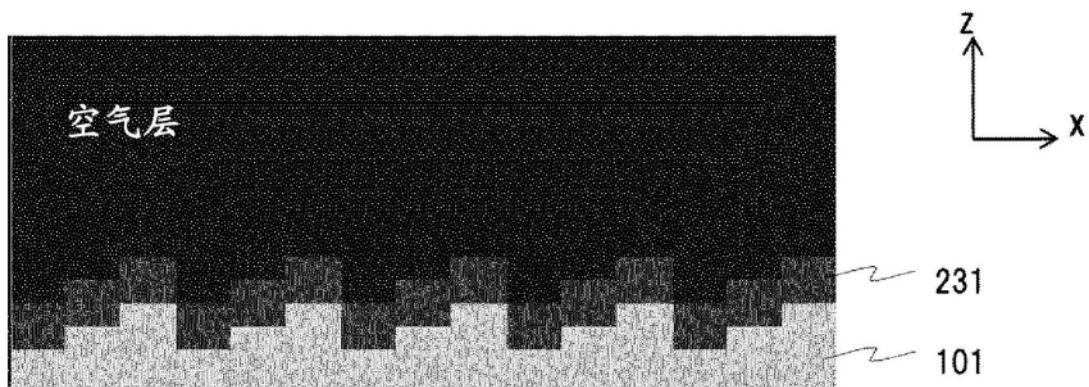


图23A

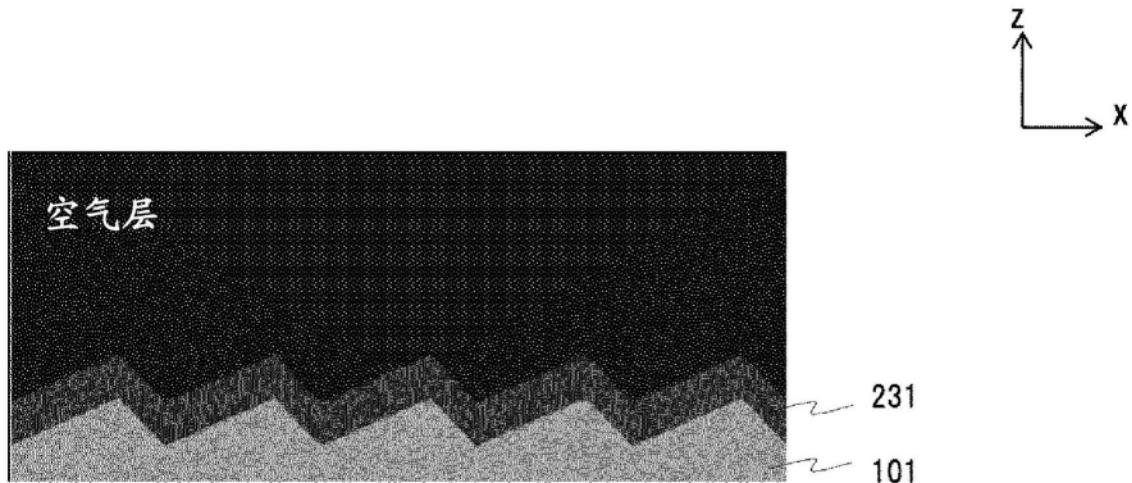


图23B

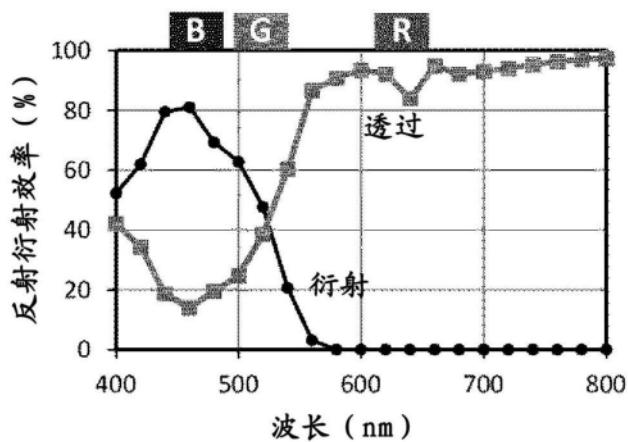


图24A

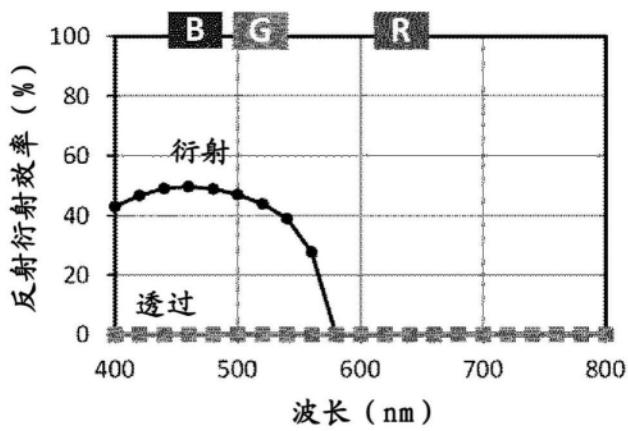


图24B

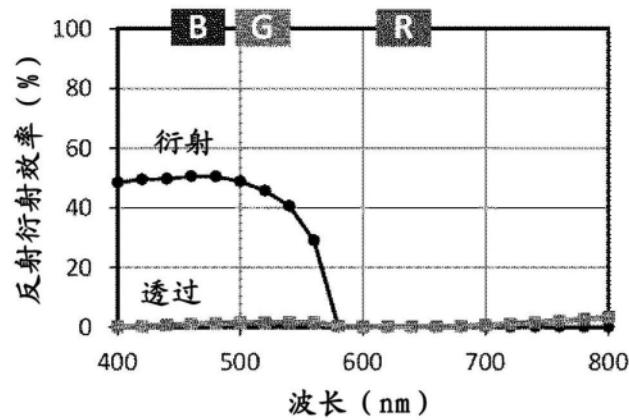


图24C

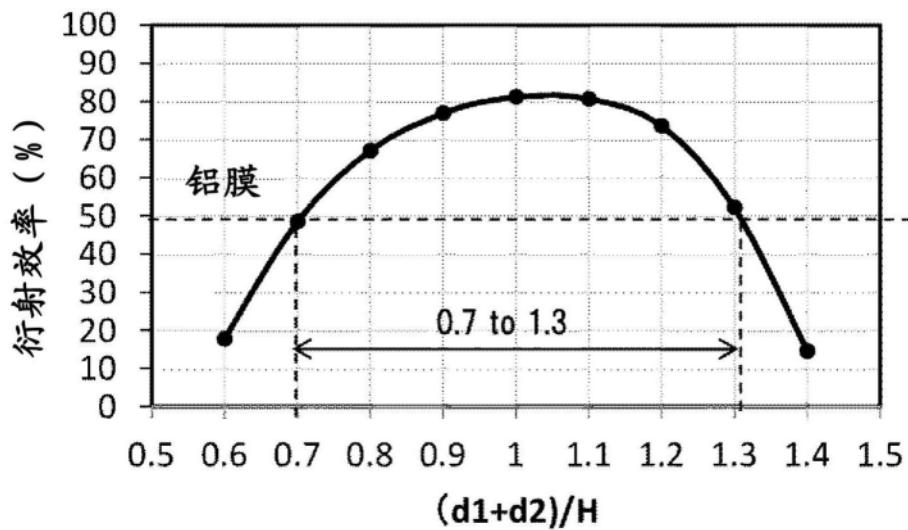


图25

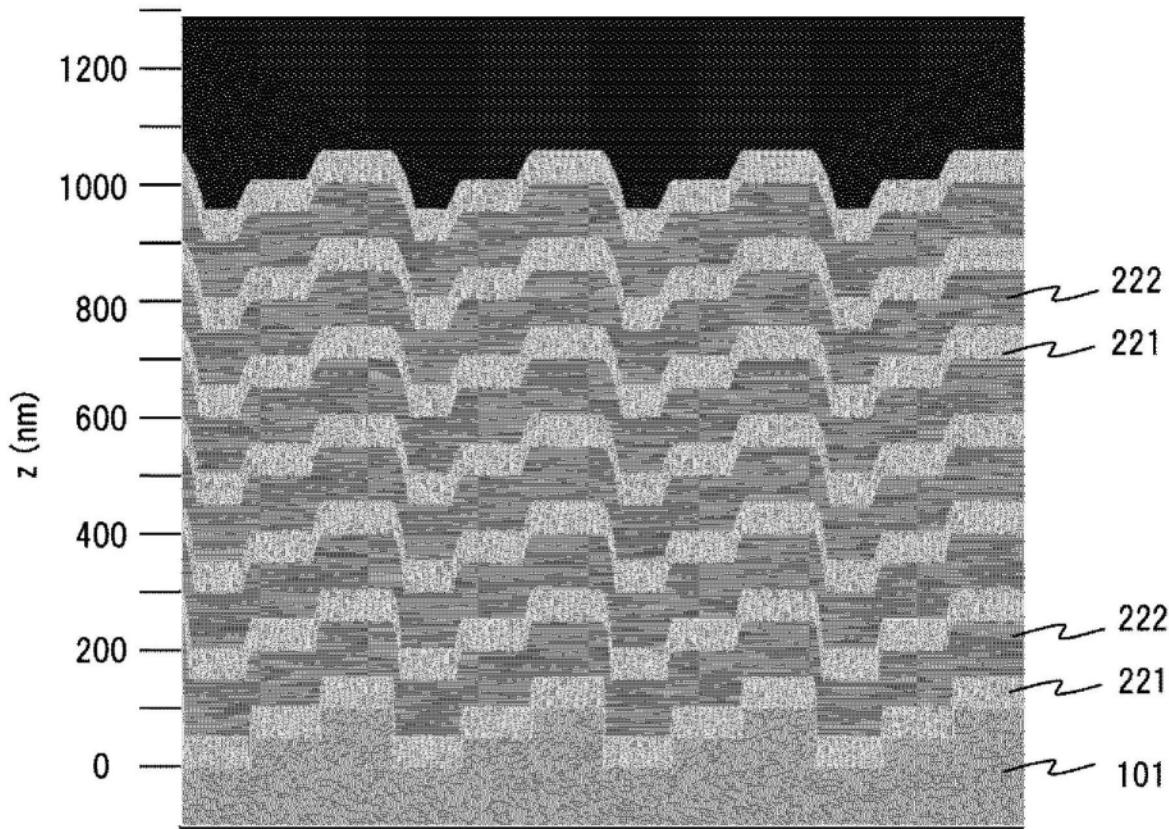


图26

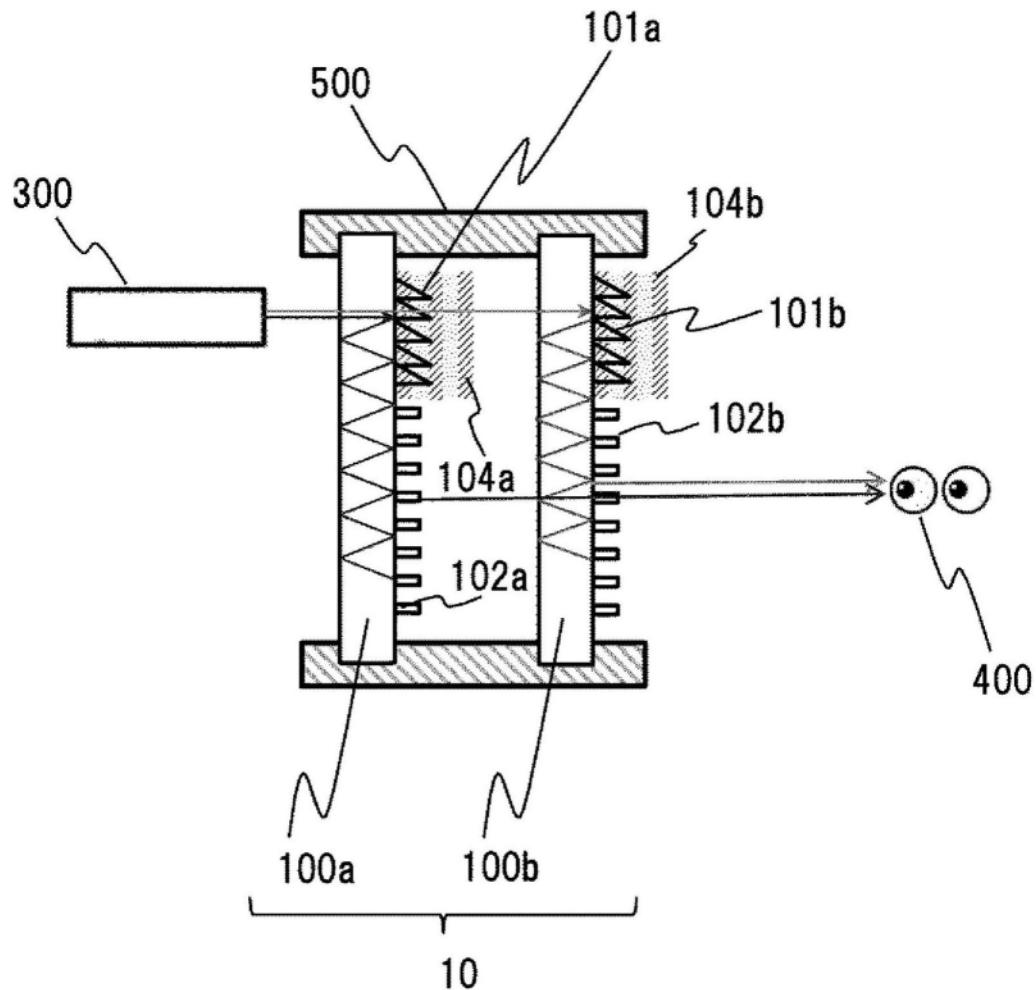


图27

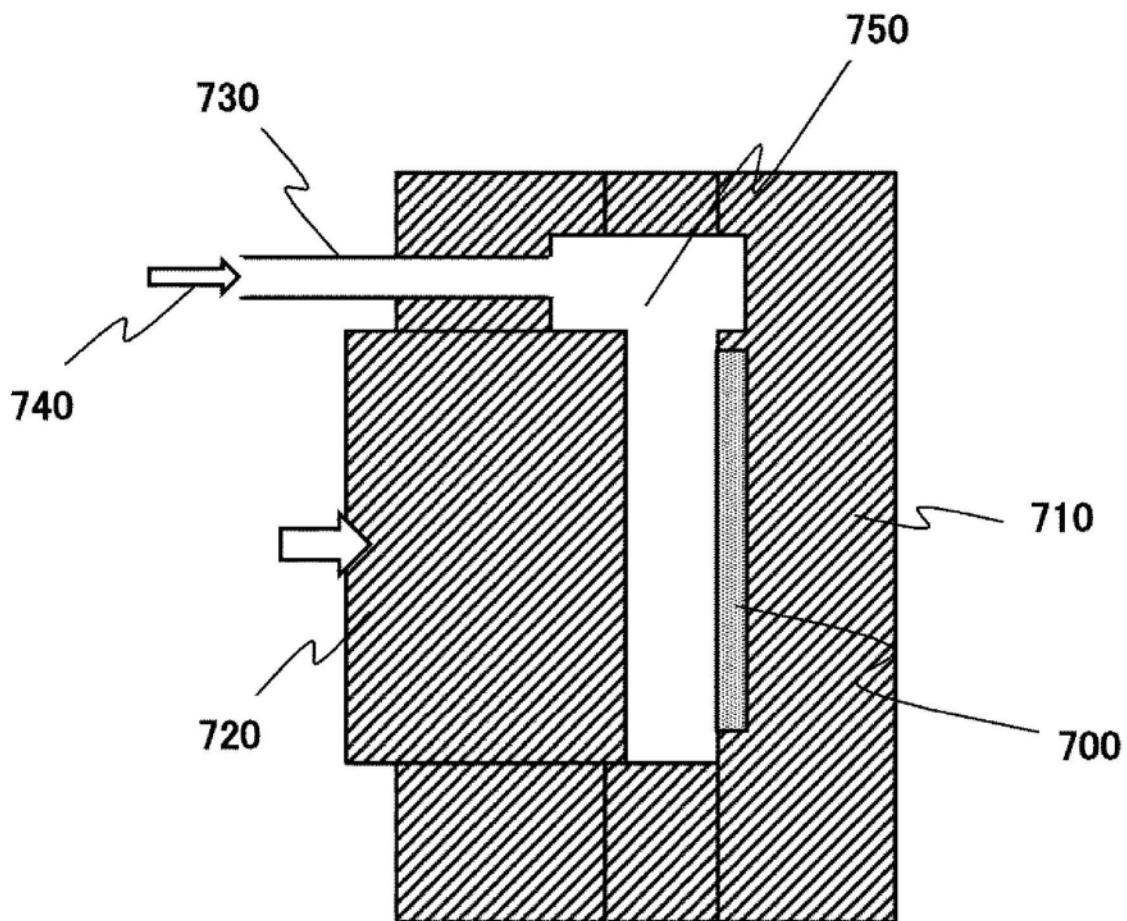


图28

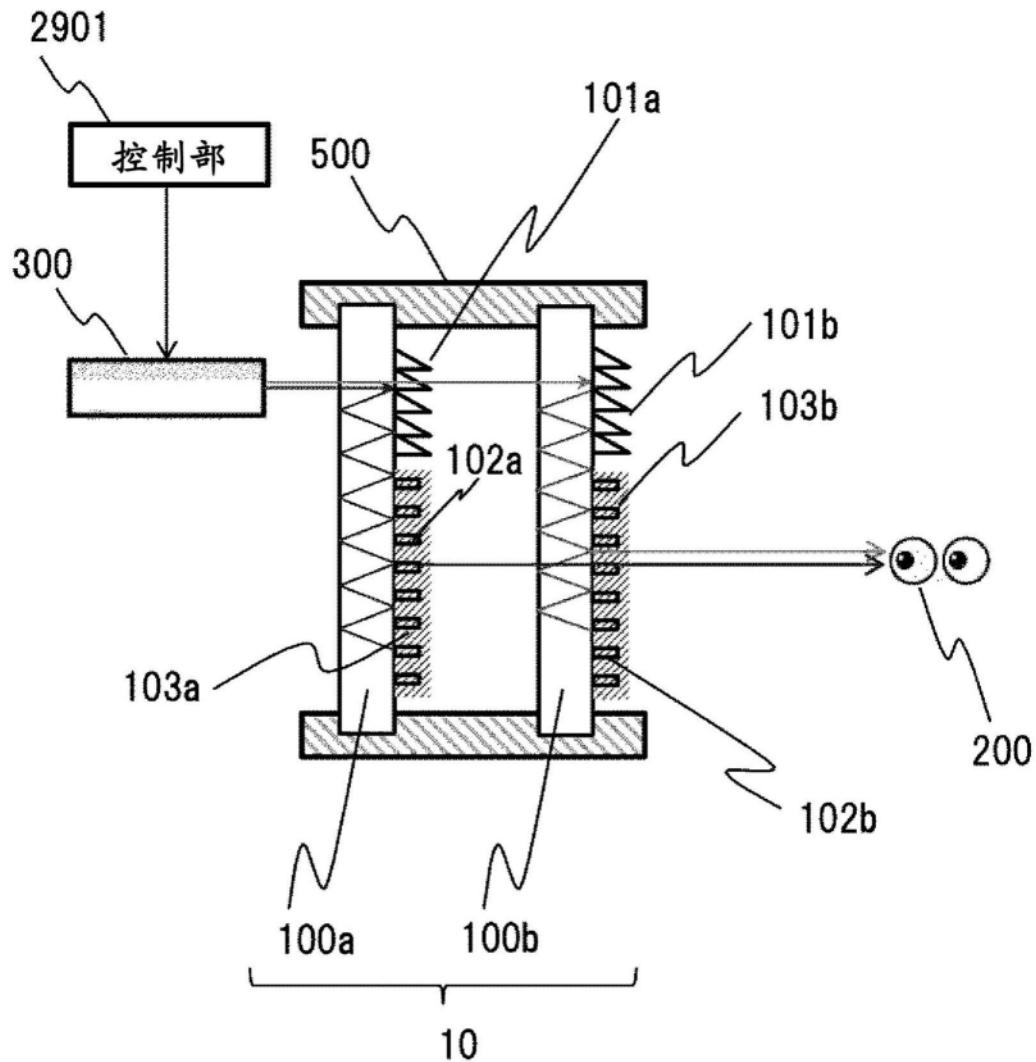


图29