

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410101776.9

G02B 27/18 (2006.01)

G02F 1/13 (2006.01)

G03B 21/00 (2006.01)

H04N 5/74 (2006.01)

H04N 9/31 (2006.01)

[45] 授权公告日 2007年4月18日

[11] 授权公告号 CN 1311273C

[22] 申请日 2004.12.22

[21] 申请号 200410101776.9

[30] 优先权

[32] 2003.12.24 [33] JP [31] 427208/2003

[32] 2004.10.13 [33] JP [31] 299284/2004

[73] 专利权人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 内山正一 伊藤嘉高 中村旬一

新田隆志 旭常盛

[56] 参考文献

JP2001-100689 A 2001.4.13

JP9-116840 A 1997.5.2

JP62-125791 A 1987.6.8

CN 1323409 A 2001.11.21

JP2003-121926 A 2003.4.23

Innovative Products - Optics - Bilateral Telecentric Lens Laurin Publishing, Pittsfield, MA, USA, PHOTONICS SPECTRA 2001

审查员 黄金龙

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

代理人 李 峥 于 静

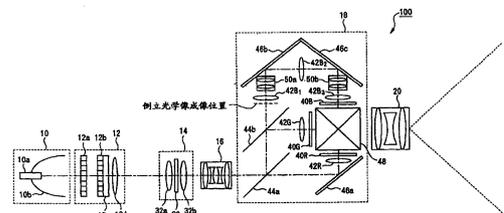
权利要求书 2 页 说明书 33 页 附图 15 页

[54] 发明名称

光学系统的光传播结构和方法、光学显示装置及其显示方法

[57] 摘要

本发明提供的投影型显示装置(100)具有:光源(10)、包括可独立地控制透过率(T1)的多个像素的辉度调制光阀、将来自辉度调制光阀的光分离成RGB三原色的光的分色镜(44a、44b)、包括分别入射由分色镜(44a、44b)分离的光且可独立地控制透过率(T2)的多个像素的多个色调调制光阀、合成来自各个色调调制光阀的光的分色棱镜(48),其中,在辉度调制部(14)和色调调制部(18)的光路上设置了将辉度调制光阀的光学像成像在各个色调调制光阀的像素面上的中继光学系统(16)。



1. 一种光学显示装置，该光学显示装置是具有光源、包括可独立地控制光传播特性的多个像素的第一光调制元件、将来自所述第一光调制元件的光分离成不同的多个特定波长区域的光的光分离装置、包括分别入射由所述光分离装置分离的光且可独立地控制光传播特性的多个像素的多个第二光调制元件、合成来自所述各个第二光调制元件的光的光合成装置的、通过所述第一光调制元件和所述各个第二光调制元件调制来自所述光源的光而显示图像的装置，其特征在于：

在所述光源和所述第一光调制元件的光路上设置有使来自所述光源的光的辉度分布均匀化的辉度分布均匀化装置；以及

在所述第一光调制元件和所述光分离装置的光路上设置有将所述第一光调制元件的光学像成像在所述各个第二光调制元件的像素面上的中继光学系统。

2. 如权利要求 1 所述的光学显示装置，其特征在于：

所述中继光学系统具有两侧焦阑性。

3. 如权利要求 1 所述的光学显示装置，其特征在于：

在从所述光分离装置到所述各个第二光调制元件的多个光路中光路长度比特定光路长的至少一个光路上设置有将所述第一光调制元件的光学像成像在与该光路对应的所述第二光调制元件的像素面上的第二中继光学系统。

4. 如权利要求 3 所述的光学显示装置，其特征在于：

所述第二中继光学系统具有：第一副中继透镜、与所述第一副中继透镜相比配置在所述第二光调制元件侧的第二副中继透镜、配置在所述第一副中继透镜与所述第二副中继透镜之间的场透镜；

以通过所述第一副中继透镜在所述场透镜上或其邻近成像的所述第一光调制元件的正立光学像通过所述第二副中继透镜在所述第二光调制元件的像素面上作为倒立光学像成像的方式，配置所述第一副中继透镜、所述

第二副中继透镜和所述场透镜。

5. 如权利要求 1 所述的光学显示装置，其特征在于：

所述第一光调制元件和所述第二光调制元件为液晶光阀。

6. 如权利要求 1 所述的光学显示装置，其特征在于：

所述辉度分布均匀化装置具有与能够入射第一光调制元件的偏振方向相对应使来自所述光源的光偏振的偏振变换元件。

7. 一种光学显示装置的显示方法，该光学显示装置的显示方法是具有光源、包括可独立地控制光传播特性的多个像素的第一光调制元件、将来自所述第一光调制元件的光分离成不同的多个特定波长区域的光的光分离装置、包括分别入射由所述光分离装置分离的光且可独立地控制光传播特性的多个像素的多个第二光调制元件、合成来自所述各个第二光调制元件的光的光合成装置的、通过所述第一光调制元件和所述各个第二光调制元件调制来自所述光源的光而显示图像的光学显示装置的显示方法，其特征在于：

在所述光源和所述第一光调制元件的光路上使来自所述光源的光的辉度分布均匀化；以及

在所述第一光调制元件和所述光分离装置的光路中，通过中继光学系统将所述第一光调制元件的光学像成像在所述各个第二光调制元件的像素面上。

## 光学系统的光传播结构和方法、光学显示装置及其显示方法

### 技术领域

本发明涉及应用于通过多个光调制元件调制来自光源的光的光学系统的结构和装置以及方法，特别是涉及不会使成本升高、可以提高成像精度并且适于进行高精度的调制的光学系统的光传播结构和光学显示装置、以及光学系统的光传播方法和光学显示装置的显示方法。

本申请对于 2003 年 12 月 24 日申请的日本国专利申请第 2003-427208 号和 2004 年 10 月 13 日申请的日本国专利申请第 2004-299284 号主张优先权，在这里引用其内容。

### 背景技术

近年来，LCD（液晶显示器，Liquid Crystal Display）、EL（电致发光装置）、等离子体显示器、CRT（阴极射线管，Cathode Ray Tube）、投影机等的光学显示装置中的图像质量改善日益显著，在分辨率（解像度）、色域方面逐渐地实现了与人的视觉特性基本匹配的性能。但是，从辉度动态范围方面来看，其再现范围最多为  $1 \sim 10^2$ （nit）左右，而且灰度级一般为 8 位（比特）。然而，人的视觉能够感觉的辉度动态范围为  $10^{-2} \sim 10^4$ （nit）左右，此外辉度辨别能力为 0.2（nit）左右，将此换算为灰度级（灰度数）则相当于 12 位（比特）。当以这样的视觉特性来看现有的光学显示装置的显示图像时，辉度动态范围就显得狭窄，而且由于阴暗部分和明亮部分的灰度不足，就会感觉到显示图像的真实感或生动性不够。

另外，在电影或游戏所使用的计算机图像（以下简称为 CG）中，将与人的视觉相近的辉度动态范围或灰度级蕴藏在显示数据（以下称为 HDR（高动态范围，High Dynamic Range）显示数据）中而追求描写的真实感

已渐渐成为主流。但是，由于显示它们的光学显示装置的性能不够，所以存在无法充分地发挥 CG 内容本身所具有的表现力的问题。

另外，在今后的 OS（操作系统，Operating System）中预计采用 16 位的色彩空间，与现有的 8 位色彩空间相比辉度动态范围或灰度级会有跳跃式的提高。因此，期待实现可以发挥 16 位的色彩空间的光学显示装置。

在光学显示装置中，所谓的液晶投影机、DLP 投影机等的投影型显示装置可以进行大画面显示，是再现显示图像的真实感或生动性有效的装置。在该领域中，为了解决上述问题提出了如下的方案。

作为高动态范围的投影型显示装置，例如有文献 1（特开平 9-116840 号公报）中公开的技术，该投影型显示装置是具有光源、调制光的全波长区域的辉度的第一光调制元件、对于光的波长区域中的 RGB 三原色的各波长区域调制该波长区域的辉度的第二光调制元件，其中，来自光源的光由第一光调制元件调制而形成期望的辉度分布，将该光学像传递到第二光调制元件的像素面进行色调制，并投影两次调制的光的装置。第一光调制元件和第二光调制元件的各像素，根据从 HDR 显示数据确定的第一控制值和第二控制值分别地进行控制。作为光调制元件使用具有透过率可独立地控制的像素结构或分段（segment）结构而能够控制两维的透过率分布的透射型调制元件。作为其代表例可例举液晶光阀。另外，代替透射型调制元件也可使用反射型调制元件，作为其代表例可例举 DMD（数字反射装置）。

现在，考虑使用暗显示的透过率为 0.2%、亮显示的透过率为 60% 的光调制元件的情况。在光调制元件的单元中，辉度动态范围为  $60/0.2=300$ 。由于上述现有的投影型显示装置相当于将辉度动态范围为 300 的光调制元件光学上连续地配置，所以可实现  $300 \times 300=90000$  的辉度动态范围。另外，关于灰度级与之相同的考虑也成立，通过将 8 位灰度的光调制元件光学上连续地配置可以获得超越 8 位的灰度级。

另外除此之外，作为实现高辉度动态范围的投影型显示装置，例如有文献 2（特开 2001-100689 号公报）中公开的显示装置。

文献 2 记载的发明是具有光源、第一光调制元件、将来自第一光调制元件的光分离成 RGB 三原色的光的光分离部、分别入射由光分离部分离的光的多个第二光调制元件、合成来自各个第二光调制元件的光的十字棱镜，通过第一光调制元件和第二光调制元件调制来自光源的光而显示图像的显示装置。在专利文献 2 记载的发明中，第一光调制元件通过构成照明光学系统的光学透镜在第二光调制元件上成像。

但是，文献 1 记载的发明存在如下问题，即在第一光调制元件与第二光调制元件之间设置光分离部，而虽然第一光调制元件与第二光调制元件分离但在其间由于没有任何透镜等的成像装置，所以将第一光调制元件的光学像精度良好地传到第二光调制元件的像素面上是困难的。另外，在专利文献 2 记载的发明中，虽然构成光学系统的透镜或反射镜等的光学部件若采用高精度的部件则可在一定程度上提高成像精度，但以高精度的光学部件构成会有导致成本升高的问题。

图 21 是表示文献 2 中记载的投影型显示装置中的第一光调制元件和第二光调制元件的光路的结构图。另外，在实际的光路上，虽然也配置了反射镜等其它的光学元件，为了容易理解下述说明，图 21 中省略这些光学元件来描述。

在图 21 的光学系统中，夹着蝇眼透镜 112a、112b 在光源侧配置有辉度调制用的第一光调制元件 130，夹着蝇眼透镜 112a、112b 在光源的相反侧配置有色调制用的第二光调制元件 140。在该光学系统中，构成距离第一光调制元件 130 近的蝇眼透镜 112a 的各单元透镜的光学像成像在第二光调制元件 140 的像素面上。因此，为了得到期望的辉度分布，在各个单元透镜的每个上必须形成该辉度分布。然而，蝇眼透镜 112a、112b 是用于使辉度分布均匀化的光学元件，用于该目的时期望单元透镜的数量多。因此，各单元透镜的尺寸必然要比第二光调制元件 140 的各像素尺寸小。具体地，使用第二光调制元件 140 的各像素尺寸的  $1/3 \sim 1/5$  左右大小的单元透镜。于是，当考虑使第二光调制元件 140 的像素与第一光调制元件 130 的像素一对一地对应时，则第一光调制元件 130 的像素密度需要成为第二

光调制元件 140 的像素密度的 3~5 倍。但是, 现有的光调制元件(例如液晶光阀)已经具有接近高精细化的微细加工技术的上限的像素密度, 从这一点来看, 第一光调制元件 130 要实现 3~5 倍的像素密度是困难的。因此, 在第一光调制元件 130 中能够形成的辉度分布的精度只能低于第二光调制元件 140 的像素密度的 3~5 倍的精度。另外, 由于各单元透镜的光学像通过距离第一光调制元件 130 远的蝇眼透镜 112b 和聚光透镜 112d 最多 2 枚透镜成像在第二光调制元件 140 的像素面上, 所以无法进行充分的像差修正而只能成为相当模糊的像。因此, 在现有的投影型显示装置中存在难以进行高精度的辉度调整的问题。

## 发明内容

因此, 本发明就是着眼于这样的现有技术中未解决的问题而提出的, 目的在于提供不会使成本升高、可提高成像精度并且可进行高精度的调制的最佳的光学系统的光传播结构和光学显示装置、以及光学系统的光传播方法和光学显示装置的显示方法。

为达到上述目的, 第一发明的光学系统的光传播结构是应用于具有包括可独立地控制光传播特性的多个像素的第一光调制元件、将来自所述第一光调制元件的光分离成不同的多个特定波长区域的光的光分离装置、包括分别入射由所述光分离装置分离的光且可独立地控制光传播特性的多个像素的多个第二光调制元件的通过所述第一光调制元件和所述各个第二光调制元件调制来自光源的光的光学系统的结构, 其特征在于:

在所述第一光调制元件和所述光分离装置的光路上设置了将所述第一光调制元件的光学像成像在所述各个第二光调制元件的像素面上的中继光学系统。

如果采用这样的结构, 通过第一光调制元件对来自光源的光进行一次调制, 通过光分离装置将来自第一光调制元件的光分离成多个特定波长区域的光, 被分离的光分别入射到各个第二光调制元件上。此时, 第一光调制元件的光学像通过中继光学系统在各个第二光调制元件的像素面上成

像。然后，通过各个第二光调制元件对来自光分离装置的光分别地进行二次调制。

由此，由于通过第一光调制元件和第二光调制元件调制来自光源的光，所以可以获得实现比较高的辉度动态范围和灰度级的效果。另外，由于通过中继光学系统将第一光调制元件的光学像成像在各个第二光调制元件的像素面上，所以可以使第一光调制元件的光学像以比较高的精度成像在第二光调制元件的像素面上，并且由于可以不必使第一光调制元件的像素面变小因而可以进行比较高的精度的调制。因此，与以往相比，可以获得降低图像质量劣化的可能性的效果。进而，因为照明光学系统的光学部件可以不必使用高精度的部件，所以可以获得抑制成本升高的效果。

另外，中继光学系统可以使用透射型的光学元件（透镜等）和反射型的光学元件（反射镜等）的任何一种构成，也可以使用其双方来构成。

另外，中继光学系统可以构成为具有两侧焦阑性。在该结构中，可以真正地实现在第二光调制元件的像素面上形成的像的亮度、色调、对比度等的均匀化，从而可使图像显示质量良好。进而，在该结构中，可将第二光调制元件的光轴方向的配置位置的允许误差范围取得比较宽，因而可以实现设计和结构的简化、降低制造成本。

其中，所谓光传播特性是对于光的传播有影响的特性，例如包括光的透过率、反射率、折射率及其它的传播特性。这在以下的第二发明的光学显示装置、第九发明的光学系统的光传播方法和第十发明的光学显示装置的显示方法中也是同样的。

另外，作为光源只要是产生光的媒体可利用任何的装置，例如，可以是灯那样的光学系统中内置的光源，也可以是象太阳或室内灯那样的外界光源。这在以下的第九发明的光学系统的光传播方法中也是同样的。

另外，特定波长区域并不只限于根据 RGB 三原色的每种原色设定，根据需要可以任意地设定。但是，如果根据 RGB 三原色的每种原色设定，则可以原样地利用现有的液晶光阀等，在成本方面是有利的。这在以下的第二发明的光学显示装置、第九发明的光学系统的光传播方法和第十发明

的光学显示装置的显示方法中也是同样的。

另一方面，为了达到上述目的，第二发明的光学显示装置是具有光源、包括可独立地控制光传播特性的多个像素的第一光调制元件、将来自所述第一光调制元件的光分离成不同的多个特定波长区域的光的光分离装置、包括分别入射由所述光分离装置分离的光且可独立地控制光传播特性的多个像素的多个第二光调制元件、合成来自所述各个第二光调制元件的光的光合成装置的通过所述第一光调制元件和所述各个第二光调制元件调制来自所述光源的光而显示图像的装置，其特征在于：

在所述第一光调制元件和所述光分离装置的光路上设置了将所述第一光调制元件的光学像成像在所述各个第二光调制元件的像素面上的中继光学系统。

如果采用这样的结构，在光学显示装置中，通过第一光调制元件对来自光源的光进行一次调制，通过光分离装置将来自第一光调制元件的光分离成多个特定波长区域的光，被分离的光分别入射到各个第二光调制元件上。此时，第一光调制元件的光学像通过中继光学系统在各个第二光调制元件的像素面上成像。然后，通过各个第二光调制元件，对来自光分离装置的光分别地进行二次调制，并通过光合成装置合成来自各个第二光调制元件的光而显示图像。

由此，由于通过第一光调制元件和第二光调制元件调制来自光源的光，所以可以获得实现比较高的辉度动态范围和灰度级的效果。另外，由于通过中继光学系统将第一光调制元件的光学像成像在各个第二光调制元件的像素面上，所以可以使第一光调制元件的光学像以比较高的精度成像在第二光调制元件的像素面上，并且由于可以不必使第一光调制元件的像素面变小因而可以进行比较高的精度的调制。因此，与以往相比，可以获得降低图像质量劣化的可能性的效果。进而，因为照明光学系统的光学部件可以不必使用高精度的部件，所以可以获得抑制成本升高的效果。另外，中继光学系统可以使用透射型的光学元件（透镜等）和反射型的光学元件（反射镜等）的任何一种构成，也可以使用其双方来构成。

进而，第三发明的光学显示装置，其特征在于：在第二发明的光学显示装置中，所述中继光学系统具有两侧焦阑性。

如果采用这样的结构，可以真正地实现在第二光调制元件的像素面上形成的像的亮度、色调、对比度等的均匀化，从而使图像显示质量良好。

另外，通过上述结构，可将第二光调制元件的光轴方向的配置位置的允许误差范围取得比较宽，因而可以实现设计和结构的简化、降低制造成本。

另外，第四发明的光学显示装置，其特征在于：在第二发明的光学显示装置中，在从所述光分离装置到所述各个第二光调制元件的多个光路中的光路长度比特定光路长的至少一个光路上设置了将所述第一光调制元件的光学像成像在与该光路对应的所述第二光调制元件的像素面上的第二中继光学系统。

如果采用这样的结构，在从光分离装置到各个第二光调制元件的多个光路中光路长度比特定光路长的至少一个光路中，通过第二中继光学系统第一光调制元件的光学像在与该光路对应的第二光调制元件的像素面上成像。

由此，如果采用从光分离装置到各个第二光调制元件的光路长不同的结构，则可以获得使第一光调制元件的光学像以比较高的精度在第二光调制元件的像素面上成像的效果。

进而，第五发明的光学显示装置，其特征在于，在第四发明的光学显示装置中，所述第二中继光学系统具有：第一副中继透镜、与所述第一副中继透镜相比配置在所述第二光调制元件侧的第二副中继透镜、配置在所述第一副中继透镜与所述第二副中继透镜之间的场透镜，

其中，以通过所述第一副中继透镜在所述场透镜上或其邻近成像的所述第一光调制元件的正立光学像通过所述第二副中继透镜在所述第二光调制元件的像素面上作为倒立光学像成像的方式配置所述第一副中继透镜、所述第二副中继透镜和所述场透镜。

如果采用这样的结构，通过第一副中继透镜在场透镜上或其邻近成像

的第一光调制元件的正立光学像通过第二副中继透镜在第二光调制元件的像素面上作为倒立光学像成像。

由此，可以获得使第一光调制元件的光学像以基本相同的辉度分布在各个第二光调制元件的像素面上成像的效果。

进而，第六发明的光学显示装置，其特征在于：在第二发明的光学显示装置中，所述第一光调制元件和所述第二光调制元件为液晶光阀。

如果采用这样的结构，由于可以利用现有的光学部件，所以可以获得抑制成本升高的效果。

进而，第七发明的光学显示装置，其特征在于：在第二发明的光学显示装置中，在所述光源与所述第一光调制元件的光路上设置了使来自所述光源的光的辉度分布均匀化的辉度分布均匀化装置。

如果采用这样的结构，通过辉度分布均匀化装置，使来自光源的光的辉度分布均匀化而入射到第一光调制元件上。

由此，可以获得降低产生辉度不均匀的可能性的效果。

进而，第八发明的光学显示装置，其特征在于：在第七发明的光学显示装置中，所述辉度分布均匀化装置具有使来自所述光源的光对应可入射第一光调制元件的偏振方向偏振的偏振变换元件。

如果采用这样的结构，通过偏振变换元件使来自光源的光对应可入射第一光调制元件的偏振方向偏振，偏振的光入射到第一光调制元件上。

由此，由于来自光源的光量的多数成为第一光调制元件的调制对象，所以可以获得使显示图像的辉度提高的效果。

另一方面，为了达到上述目的，第九发明的光学系统的光传播方法是应用于具有包括可独立地控制光传播特性的多个像素的第一光调制元件、将来自所述第一光调制元件的光分离成不同的多个特定波长区域的光的光分离装置、包括分别入射由所述光分离装置分离的光且可独立地控制光传播特性的多个像素的多个第二光调制元件的通过所述第一光调制元件和所述各个第二光调制元件调制来自光源的光的光学系统的方法，其特征在于：

在所述第一光调制元件和所述光分离装置的光路中，通过中继光学系

统将所述第一光调制元件的光学像成像在所述各个第二光调制元件的像素面上。

由此，可以获得与第一发明的光学系统的光传播结构同等的效果。

另外，中继光学系统可以使用透射型的光学元件（透镜等）和反射型的光学元件（反射镜等）的任何一种构成，也可以使用其双方来构成。

另外，中继光学系统可以构成为具有两侧焦阑性。在该结构中，可以真正地实现在第二光调制元件的像素面上形成的像的亮度、色调、对比度等的均匀化，从而使图像显示质量良好。进而，在该结构中，可将第二光调制元件的光轴方向的配置位置的允许误差范围取得比较宽，因而可以实现设计和结构的简化、降低制造成本。

另一方面，为了达到上述目的，第十发明的光学显示装置的显示方法，该光学显示装置的显示方法是具有光源、包括可独立地控制光传播特性的多个像素的第一光调制元件、将来自所述第一光调制元件的光分离成不同的多个特定波长区域的光的光分离装置、包括分别入射由所述光分离装置分离的光且可独立地控制光传播特性的多个像素的多个第二光调制元件、合成来自所述各个第二光调制元件的光的光合成装置的通过所述第一光调制元件和所述各个第二光调制元件调制来自所述光源的光而显示图像的光学显示装置的显示方法，其特征在于：

在所述第一光调制元件和所述光分离装置的光路中，通过中继光学系统将所述第一光调制元件的光学像成像在所述各个第二光调制元件的像素面上。

由此，可以获得与第二发明的光学显示装置同等的效果。

进而，第十一发明的光学显示装置的显示方法，其特征在于：在第十发明的光学显示装置的显示方法中，在从所述光分离装置到所述各个第二光调制元件的多个光路中光路长度比特定光路长的至少一个光路中，通过第二中继光学系统将所述第一光调制元件的光学像成像在与该光路对应的所述第二光调制元件的像素面上。

由此，可以获得与第四发明的光学显示装置同等的效果。

进而，第十二发明的光学显示装置的显示方法，其特征在于：在第十一发明的光学显示装置的显示方法中，所述第二中继光学系统具有：第一副中继透镜、与所述第一副中继透镜相比配置在所述第二光调制元件侧的第二副中继透镜、配置在所述第一副中继透镜与所述第二副中继透镜之间的场透镜，

其中，通过所述第一副中继透镜在所述场透镜上或其邻近成像的所述第一光调制元件的正立光学像通过所述第二副中继透镜在所述第二光调制元件的像素面上作为倒立光学像成像。

由此，可以获得与第五发明的光学显示装置同等的效果。

进而，第十三发明的光学显示装置的显示方法，其特征在于：在第九发明到第十二发明中的任意一个发明的光学显示装置的显示方法中，所述第一光调制元件和所述第二光调制元件为液晶光阀。

由此，可以获得与第五发明的光学显示装置同等的效果。

进而，第十四发明的光学显示装置的显示方法，其特征在于：在第九发明到第十三发明的任意一个发明的光学显示装置的显示方法中，在所述光源与所述第一光调制元件的光路中，通过辉度分布均匀化装置使来自所述光源的光的辉度分布均匀化。

由此，可以获得与第六发明的光学显示装置同等的效果。

进而，第十五发明的光学显示装置的显示方法，其特征在于：在第十四发明的光学显示装置的显示方法中，在所述光源与所述第一光调制元件的光路中，通过偏振变换元件使来自所述光源的光对应可入射第一光调制元件的偏振方向偏振。

由此，可以获得与第八发明的光学显示装置同等的效果。

## 附图说明

图 1 是表示投影型显示装置 100 的硬件结构的框图。

图 2 是表示中继透镜 16 的结构图。

图 3 是表示中继透镜 16 的工作原理图。

图 4A 是表示具有两侧焦阑性的中继透镜的图。

图 4B 是表示一般的中继透镜的图。

图 5A 是表示具有两侧焦阑性的中继透镜的图。

图 5B 是表示一般的中继透镜的图。

图 6 是表示显示控制装置 200 的硬件结构的框图。

图 7 是表示控制值登记表 400 的数据结构的图。

图 8 是表示控制值登记表 420R 的数据结构的图。

图 9 是表示显示控制处理的流程图。

图 10 是用于说明色调映射处理的图。

图 11 是表示临时决定色调调制光阀的透过率  $T_2$  的情况的图。

图 12 是表示算出色调制光阀的像素单位的辉度调制光阀的透过率  $T_1'$  的情况的图。

图 13A、图 13B 和图 13C 是表示确定辉度调制光阀的各个像素的透过率  $T_1$  的情况的图。

图 14A、图 14B 和图 14C 是表示确定色调调制光阀的各个像素的透过率  $T_2$  的情况的图。

图 15 是表示投影型显示装置 100 的其它的硬件结构的框图。

图 16 是表示输入值登记表 440 的数据结构的图。

图 17 是表示输入值登记表 460 的数据结构的图。

图 18 是表示由反射镜构成的反射型的中继光学系统的结构例的图。

图 19 是表示由反射镜构成的反射型的中继光学系统的结构例的图。

图 20 是表示由反射镜构成的反射型的中继光学系统的结构例的图。

图 21 是表示专利文献 2 记载的投影型显示装置中的第一光调制元件和第二光调制元件的光路的结构图。

## 具体实施方式

下面，参照附图说明本发明的实施例。图 1 至图 14 是表示本发明的光学系统的光传播结构和光学显示装置、以及光学系统的光传播方法和光学

显示装置的显示方法的实施例的图。

如图 1 所示, 本实施例是将本发明的光学系统的光传播结构和光学显示装置、以及光学系统的光传播方法和光学显示装置的显示方法应用于投影型显示装置 100 的例子。

首先, 参照图 1 说明投影型显示装置 100 的结构。

图 1 是表示投影型显示装置 100 的硬件结构的框图。

如图 1 所示, 投影型显示装置 100 由光源 10、将从光源 10 入射的光的辉度分布均匀化的辉度分布均匀化部 12、调制从辉度分布均匀化部 12 入射的光的全波长区域的辉度的辉度调制部 14、对从辉度调制部 14 入射的光进行中继的中继透镜 16、分别地调制从中继透镜 16 入射的光的波长区域中的 RGB 三原色的辉度的色调调制部 18、将从色调调制部 18 入射的光投影在屏幕(未图示)上的投影部 20 构成。

光源 10 由高压水银灯等的灯 10a 和反射从灯 10a 射出的光的反射器 10b 构成。

辉度调制部 14 由可独立地调制透过率的多个像素排列成矩阵状的液晶光阀 30、场透镜 32a、聚光镜 32b 构成。另外, 来自辉度分布均匀化部 12 的光通过场透镜 32a 入射, 将入射的光的全波长区域的辉度由液晶光阀 30 调制, 调制的光通过聚光透镜 32b 聚光并射出到中继透镜 16 上。中继透镜 16 将液晶光阀 30 的光学像通过后述的分色镜、场透镜、中继透镜等成像在液晶光阀 40R、40G、40B 上。

色调调制部 18 由可独立地控制透过率的多个像素排列成矩阵状并且具有比液晶光阀 30 高的分辨率的三片液晶光阀 40R、40G、40B; 五片场透镜 42R、42G、42B1~42B3; 两片分色镜 44a、44b; 三片反射镜 46a、46b、46c; 分色棱镜 48 以及分别由多个透镜构成的两对副中继透镜 50a、50b 构成。首先, 来自中继透镜 16 的光由分色镜 44a、44b 分离为红色、绿色、蓝色的 RGB 三原色的光, 并且通过场透镜 42R、42G、42B1~42B3 和反射镜 46a~46c 入射到液晶光阀 40R~40B 上。然后, 通过各液晶光阀 40R~40B 调制分离的 RGB 三原色的光的辉度, 并通过分色棱镜 48 使调制的

RGB 三原色的光聚光而向投影部 20 射出。

其中,通过中继透镜 16 形成的液晶光阀 30 的光学像在液晶光阀 40R、40G 上形成倒立的光学像,但由于通向液晶光阀 40B 的光路的光路长度比通向液晶光阀 40R、40G 的光路长,因此在该光路上在虚线位置形成倒立像。因此,在从分色镜 44b 到液晶光阀 40B 之间的光路中,通过场透镜 42B1、副中继透镜 50a 在图 1 的虚线位置形成的液晶光阀 30 的倒立光学像在场透镜 42B2 上或其邻近形成正立的光学像,进而,通过副中继透镜 50b 将正立光学像在液晶光阀 40B 的像素面上形成倒立的光学像。

液晶光阀 30、40R~40B 为在矩阵状地形成了像素电极和用于驱动它们的薄膜晶体管元件或薄膜二极管等的开关元件的玻璃基板和在整个面形成了共用电极的玻璃基板之间夹持 TN 型液晶,并且在外面配置了偏振板的有源矩阵型的液晶显示元件。液晶光阀 30、40R~40B 以施加电压的状态下为白/亮(透过)的状态,非施加电压的状态下为黑/暗(非透过)的状态的常白模式或与其相反的常黑模式进行驱动,根据赋予的控制值模拟地控制明暗间的灰度。

辉度分布均匀化部 12 由两片蝇眼透镜 12a、12b 以及偏振变换元件 12c、聚光透镜 12d 构成。另外,来自光源 10 的光的辉度分布通过蝇眼透镜 12a、12b 均匀化,通过偏振变换元件 12c 使均匀化的光向可入射液晶光阀 30 的偏振方向偏振,将偏振的光通过聚光透镜 12d 聚光而向辉度调制部 14 射出。

偏振变换元件 12c 例如由 PBS 阵列、1/2 波长板构成。波长板为在特定波长的光通过时在 S 偏振光与 P 偏振光之间产生相位差的双折射元件。根据特定波长分别设定厚度研磨人工水晶,使各个晶体的光学轴互相正交地贴合。1/2 波长板将直线偏振光变换成与之正交的直线偏振光,将其相位差设定为  $180^\circ$  ( $\pi$ )。

图 2 是表示中继透镜 16 的结构图。

中继透镜 16 是将液晶光阀 30 的光学像在各液晶光阀 40R~40B 的像素面上成像的透镜,如图 2 所示,是由相对于孔径光阑大致对称地配置的

前级透镜组和后级透镜组构成的等倍成像透镜。前级透镜组与后级透镜组由多个凸透镜和一片凹透镜构成。但是，透镜的形状、大小、配置间隔和片数、焦阑性、倍率和其它透镜特性根据要求的特性可适当地变更，并不只限于图 2 的例子。另外，在中继透镜 16 构成两侧焦阑的情况下，可省略聚光透镜 32b、场透镜 42R、42G、42B3。另外，图 2 的透镜结构同样可以应用于副中继透镜 50a、50b 的结构。

图 3 是表示中继透镜 16 的工作原理的图。

如图 3 所示，由于中继透镜 16 使用了典型的等倍成像透镜，即使液晶光阀 30 和液晶光阀 40R~40B 的像素密度相同，也可以使液晶光阀 30 的像素与液晶光阀 40R~40B 的像素一对一地对应。另外，由于中继透镜 16 由多个透镜构成，因此像差修正良好，在液晶光阀 30 形成的辉度分布可正确地传至液晶光阀 40R~40B。

图 4A、图 4B 和图 5A、图 5B 为焦阑性的说明图，图 4A、图 5A 是表示具有两侧焦阑性的中继透镜的图，图 4B、图 5B 是表示一般的中继透镜的图。

如图 4A 所示，所谓焦阑透镜是指以粗实线表示的主光线相对于光轴平行的透镜，将在物侧（前级光阀侧）与像侧（后级光阀侧）的任意一侧上都具有焦阑性的透镜称为两侧焦阑透镜。具有两侧焦阑性的中继透镜，使从前级光阀（本实施例中为液晶光阀）射出的主光线从前级光阀的任意部位大致垂直地射出，并且大致垂直地入射到后级光阀（本例中为液晶光阀）上。因此，从距离前级光阀的光轴的远的位置（A）射出的光束的射出角度分布与从离光轴比较近的位置（B）射出的光束的射出角度分布比较大致相等。

另一方面，如图 4B 所示，在一般的中继透镜中，以粗实线表示的主光线由于前级光阀的射出位置而射出角度不同，向后级光阀的入射角也由于入射位置而不同。因此，从距离前级光阀的光轴远的位置（A）射出的光束的射出角度的分布与从离光轴近的位置（B）射出的光束的射出角度分布比较是相当不同的。

但是，一般地液晶光阀具有视觉依赖性。即，由于从液晶光阀射出的光线的角度其对比度特性、亮度特性、分光特性不同。因此，在图 4B 所示的一般的中继透镜中，每个前级光阀（液晶光阀）的区域中的射出光束的射出角度成分不同，其结果，在后级光阀（液晶光阀）的画面内产生显示图像的亮度、色调、对比度的分布（不均匀性），可导致投影机的图像显示质量降低。

对此，在图 4A 所示的具有两侧焦阑性的中继透镜中，由于具有前级光阀（液晶光阀）的任何区域的射出光束的射出角度都大致相同的分布，所以后级光阀（液晶光阀）的画面内的显示图像的亮度、色调、对比度大致均匀，因而投影机的图像显示质量良好。

另外，如图 5A 所示，在具有两侧焦阑性的中继透镜中，即使在后级光阀的光轴方向的配置位置上产生误差（如图 5A 所示，PS1 到 PS2），但由于主光线相对于光轴平行，所以即使前级光阀的像产生一些模糊而其大小几乎不变（如图 5A 所示， $AL1 \approx AL2$ ）。即，即使后级光阀的配置有些误差，投影机的图像显示品质也不会有多大的降低，所以制造允许偏差量大。

另一方面，如图 5B 所示，在一般的中继透镜中，当在后级光阀上产生与上述同等的配置误差时（如图 5B 所示，PS1 到 PS2），由于主光线相对于光轴不平行，所以在前级光阀的像上不仅产生模糊而且大小还发生变化（如图 5B 所示， $AL1 < AL2$ ），结果可能会使图像显示质量大大下降。

再回到图 1，投影型显示装置 100 具有控制液晶光阀 30 和液晶光阀 40R~40B 的显示控制装置 200（未图示）。以下，将液晶光阀 40R~40B 统称为色调制光阀，并为了区别于色调制光阀，将液晶光阀 30 称为辉度调制光阀。另外，在本实施例中，色调制光阀确定显示分辨率（是观察者看投影型显示装置 100 的显示图像时观察者感觉的分辨率）。

下面，参照图 6 到图 10 详细说明显示控制装置 200 的结构。

图 6 是表示显示控制装置 200 的硬件结构的框图。

如图 6 所示，显示控制装置 200 由根据控制程序运算和控制系统整体

的 CPU70、在规定领域预先存储 CPU70 的控制程序等的 ROM72、用于存储从 ROM72 等读出的数据或在 CPU70 的运算过程中的需要的结果的 RAM74、对于外部装置作为输入输出数据的媒介的 I/F78 构成，并且它们通过作为传送数据用的信号线的总线 79 可互相传输接收数据地连接。

作为外部装置的驱动辉度调制光阀和色调调制光阀的光阀驱动装置 80、将数据或表格等作为文件存储的存储装置 82、用于与外部网络 199 连接的信号线连接在 I/F78 上。

存储装置 82 存储 HDR 显示数据。

HDR 显示数据是可实现现有的 sRGB 等的图像格式不能实现的高辉度动态范围的图像数据，表示像素的辉度级的像素值是对图像的全部像素存储的。现在，特别是在 CG 的世界中，用于将 CG 对象合成为实际的风景。作为图像形式有各种各样的形式，为了实现比现有的 sRGB 等的图像格式高的辉度动态范围多是以浮点小数形式存储像素值。另外，具有以不考虑人的视觉特性的物理的发射辉度 ( $Radiance=W/(sr \cdot m^2)$ )、或考虑人的视觉特性的辉度 ( $luminance=cd/m^2$ ) 的值作为存储的值的特征。在本实施例中，作为 HDR 显示数据，使用对于一个像素以 RGB 三原色的每种原色为单位将表示发射辉度级的像素值作为浮点小数形式存储的形式。例如，作为一个像素的像素值存储 (1.2、5.4、2.3) 的值。

HDR 显示数据是拍摄高辉度动态范围的 HDR 图像并根据拍摄的 HDR 图像而生成的。但是，现有的胶卷摄像机与数字照相机不能一次拍摄自然界中的高辉度动态范围的 HDR 图像。因此，由用某种方法使曝光变化的多个拍摄图像生成一幅 HDR 图像。另外，关于 HDR 显示数据的生成方法的详细内容，例如，在公知文献 1 “P. E. Debevec, J. Malik, ‘Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs’, Proceedings of ACM SIGGRAPH97, pp.367-378 (1997)” 中有记载。

当设 HDR 显示数据中的像素 p 的辉度级为  $R_p$ 、与辉度调制光阀的像素 p 对应的像素的透过率为  $T_1$ 、与色调调制光阀的像素 p 对应的像素的透过率为  $T_2$  时，下式 (1)、(2) 成立。

$$R_p = T_p \times R_s \dots (1)$$

$$T_p = T_1 \times T_2 \times G \dots (2)$$

在上式(1)、(2)中， $R_s$  是光源 10 的辉度， $G$  是增益，任何一个都是常数。另外， $T_p$  是光调制率。

从上式(1)、(2)可以看出，对于像素  $p$  存在  $T_1$  和  $T_2$  的无数的组合。但是，并不是任意确定  $T_1$  和  $T_2$ 。由于确定的方法的不同可使图像质量劣化，所以  $T_1$  和  $T_2$  需要考虑图像质量来适当地确定。

当辉度调制光阀和色调制光阀分别具有不同的分辨率时，对于辉度调制光阀的一个像素  $p_1$  来说，像素  $p_1$  会横跨色调制光阀的多个像素成像，或者与此相反，对于色调制光阀的一个像素  $p_2$  来说，在像素  $p_2$  上会重叠辉度调制光阀的多个像素而成像。在此，当对于辉度调制光阀的像素  $p_1$  计算透过率  $T_1$  时，如果确定了色调制光阀的重合的多个像素的透过率  $T_2$ ，则可算出这些透过率  $T_2$  的平均值，将算出的平均值等看作与色调制光阀的像素  $p_1$  对应的像素的透过率  $T_2$ ，可以通过上式(1)、(2)算出透过率  $T_1$ 。但是，由于是将平均值等看作色调制光阀的透过率  $T_2$ ，所以总会产生误差。该误差不论是在先确定辉度调制光阀的透过率  $T_1$  的情况下，还是在先确定色调制光阀的透过率  $T_2$  的情况下，不管确定顺序如何都会产生，所以对于辉度调制光阀和色调制光阀中的决定显示分辨率的数据来说，由于视觉上的影响力大，因此最好尽可能地减小误差。

因此，要对由于确定顺序的不同误差的大小如何地变化进行分析。首先，考虑先确定色调制光阀的透过率  $T_2$  的情况。辉度调制光阀的像素  $p_1$  的透过率  $T_1$  可以通过算出色调制光阀的重合的多个像素的透过率  $T_2$  的平均值等，再根据算出的平均值和 HDR 显示数据由上式(1)、(2)算出。其结果，从辉度调制光阀的像素  $p_1$  来看，其透过率  $T_1$  是对于色调制光阀的重合的多个像素的透过率  $T_2$  产生误差，误差的程度为由平均值等的统计的运算产生的误差程度。对此，从色调制光阀的像素  $p_2$  来看，即使算出辉度调制光阀的重合的多个像素的透过率  $T_1$  的平均值等，其透过率  $T_2$  对于该平均值等有时会产生无法满足上式(1)、(2)的大的误差。这是因

为即使以像素  $p1$  为基准规定与色调制光阀的重合的多个像素的关系(满足上式(1)、(2)的关系),其相反的关系也不一定成立。因此,色调制光阀的透过率  $T2$  的误差比较大的可能性高。

在相反的情况下也同样,在先确定辉度调制光阀的透过率  $T1$  的情况下,辉度调制光阀的透过率  $T1$  的误差比较大的可能性高。

由上述可知,从提高图像质量方面来看,可得出当后确定辉度调制光阀和色调制光阀中的决定显示分辨率的透过率时误差的影响小的结论。在本实施例中,由于色调制光阀决定显示分辨率,所以可后确定色调制光阀的透过率  $T2$ 。

另外,存储装置 82 存储登记了辉度调制光阀的控制值的控制值登记表 400。

图 7 是表示控制值登记表 400 的数据结构的图。

如图 7 所示,在控制值登记表 400 中,对于辉度调制光阀的每个控制值登记一个记录。各记录构成为包括登记辉度调制光阀的控制值的区段和登记辉度调制光阀的透过率的区段。

在图 7 的例子中,在第一段的记录上分别登记有控制值“0”、透过率“0.003”。这表示当对于辉度调制光阀输出控制值“0”时,辉度调制光阀的透过率为 0.3%。另外,图 7 表示辉度调制光阀的灰度级为 4 位(0~15)时的例子,但实际上登记与辉度调制光阀的灰度级相当的记录。例如,当灰度级为 8 位时登记 256 个记录。

另外,存储装置 82 存储以每个色调制光阀为单位登记该色调制光阀的控制值的控制值登记表 420R、420G、420B。

图 8 是表示控制值登记表 420R 的数据结构的图。

如图 8 所示,在控制值登记表 420R 中,对于液晶光阀 40R 的每个控制值登记一个记录。各记录构成为包括登记液晶光阀 40R 的控制值的区段和登记液晶光阀 40R 的透过率的区段。

在图 8 的例子中,在第一段的记录中分别登记控制值“0”、透过率“0.004”。这表示当对于液晶光阀 40R 输出控制值“0”时,液晶光阀 40R

的透过率为 0.4%。另外，图 8 表示色调制光阀的灰度级为 4 位（0~15）时的例子，但实际上登记与色调制光阀的灰度级相当的记录。例如，当灰度级为 8 位时登记 256 个记录。

另外，虽然控制值登记表 420G、420B 的数据结构没有特别图示，但具有与控制值登记表 420R 同样的数据结构。但与控制值登记表 420R 不同的是对应相同的控制值的透过率不同。

下面，说明 CPU70 的结构和由 CPU70 执行的处理。

CPU70 由微处理器单元（MPU）等构成，它启动在 ROM72 的指定区域存储的指定的程序，按照该程序执行图 9 的流程图所示的显示控制处理。

图 9 是表示显示控制处理的流程图。

显示控制处理是根据 HDR 显示数据分别确定辉度调制光阀和色调制光阀的控制值，并根据确定的控制值驱动辉度调制光阀和色调制光阀的处理，如图 9 所示，当在 CPU70 中执行后，首先进入步骤 S100。

在步骤 S100 中，从存储装置 82 中读出 HDR 显示数据。

接着，进入步骤 S102，对读出的 HDR 显示数据进行分析，算出像素值的直方图或者辉度级的最大值、最小值和平均值等。该分析结果用于使变暗的场景变亮、使过亮的场景变暗和用于协调中间部的对比度等的自动图像修正以及用于色调映射（tone mapping）。

接着，进入步骤 S104，根据步骤 S102 的分析结果将 HDR 显示数据的辉度级色调映射到投影型显示装置 100 的辉度动态范围。

图 10 是用于说明色调映射处理的图。

对 HDR 显示数据进行分析的结果，在 HDR 显示数据中含有的辉度级的最小值设为  $S_{min}$ ，最大值设为  $S_{max}$ 。另外，投影型显示装置 100 的辉度动态范围的最小值设为  $D_{min}$ ，最大值设为  $D_{max}$ 。在图 10 的例子中，由于  $S_{min}$  比  $D_{min}$  小，而  $S_{max}$  比  $D_{max}$  大，所以这样无法适当地显示 HDR 显示数据。因此，进行归一化将  $S_{min} \sim S_{max}$  的直方图收入在  $D_{min} \sim D_{max}$  的范围内。

另外，关于色调映射的详细情况，例如，记载在公知文献 2 “F. Drago,

K. Myszkowski, T. Annen, N. Chiba, 'Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes', Eurographics 2003, (2003)" 中。

接着, 进入步骤 S106, 配合色调制光阀的分辨率调整 HDR 图像的尺寸(放大或缩小)。此时, 保持 HDR 图像的纵横比调整 HDR 图像的尺寸。作为调整尺寸的方法, 例如有平均值法、中间值法、近邻取样法(最邻近法)。

接着, 进入步骤 S108, 根据调整尺寸的图像的各个像素的辉度级  $R_p$  和光源的辉度  $R_s$  由上式(1)算出调整尺寸的图像的各个像素的光调制率  $T_p$ 。

接着, 进入步骤 S110, 作为色调制光阀的各个像素的透过率  $T_2$  赋予初始值(例如, 0.2), 临时决定色调制光阀的各个像素的透过率  $T_2$ 。

接着, 进入步骤 S112, 根据算出的光调制率  $T_p$ 、临时决定的透过率  $T_2$  和增益  $G$  由上式(2)算出色调制光阀的像素单位的辉度调制光阀的透过率  $T_1'$ 。在此, 由于色调制光阀由三个液晶光阀 40R~40B 构成, 所以对同一像素算出 RGB 三原色的每种原色的透过率  $T_1'$ 。对此, 由于辉度调制光阀由一个液晶光阀 30 构成, 所以将它们的平均值等作为该像素的  $T_1'$  算出。

接着, 进入步骤 S114, 就辉度调制光阀的各个像素的每个像素, 将对于与该像素在光路上重合的色调制光阀的像素算出的透过率  $T_1'$  的加权平均值作为该像素的透过率  $T_1$  算出。加权通过重合的像素的面积比进行。

接着, 进入步骤 S116, 就辉度调制光阀的各个像素的每个像素, 将与对于该像素算出的透过率  $T_1$  对应的控制值从控制值登记表 400 中读出, 将读出的控制值确定为该像素的控制值。在读出控制值时, 从控制值登记表 400 中检索与算出的透过率  $T_1$  最接近的透过率, 读出与通过检索而检索出的透过率对应的控制值。这种检索例如通过使用两分检索法实现高速的检索。

接着, 进入步骤 S118, 对于色调制光阀的每个像素, 算出对于与该像素在光路上重合的辉度调制光阀的像素确定的透过率  $T_1$  的加权平均值,

根据算出的平均值、在步骤 S108 算出的光调制率  $T_p$  和增益  $G$  由上式(2)算出该像素的透过率  $T_2$ 。加权通过重合的像素的面积比进行。

接着，进入步骤 S120，对于色调制光阀的每个像素，将与对该像素算出的透过率  $T_2$  对应的控制值从控制值登记表 420R ~ 420B 中读出，将读出的控制值确定为该像素的控制值。在读出控制值时，从控制值登记表 420R ~ 420B 中检索与算出的透过率  $T_2$  最接近的透过率，读出与通过检索而检索出的透过率对应的控制值。这种检索例如通过使用两分检索法实现高速的检索。

接着，进入步骤 S122，将在步骤 S116、S120 确定的控制值向光阀驱动装置 80 输出，分别驱动辉度调制光阀和色调制光阀而投影显示图像，结束一系列的处理后返回最开始的处理。

下面，参照图 11 到图 14 说明本实施例的动作。

以下，以色调制光阀的任意一个都具有横 18 像素 × 纵 12 像素的分辨率和 4 位的灰度级、辉度调制光阀具有横 15 像素 × 纵 10 像素的分辨率和 4 位的灰度级的情况为例进行说明。

在显示控制装置 200 中，经过步骤 S100 ~ S104，读出 HDR 显示数据，分析读出的 HDR 显示数据，根据该分析的结果将 HDR 显示数据的辉度级色调映射到投影型显示装置 100 的辉度动态范围。接着，经过步骤 S106，与色调制光阀的分辨率对应地调整 HDR 图像的尺寸。

接着，经过步骤 S108，对调整了尺寸的图像的每个像素算出光调制率  $T_p$ 。例如，当设像素  $p$  的辉度级  $R_p$  (R、G、B) 为 (1.2、5.4、2.3)、设光源 10 的辉度  $R_s$  (R、G、B) 为 (10000、10000、10000) 时，调整了尺寸的图像的像素  $p$  的光调制率  $T_p$  为  $(1.2、5.4、2.3) / (10000、10000、10000) = (0.00012、0.00054、0.00023)$ 。

图 11 是表示临时决定色调制光阀的透过率  $T_2$  的情况的图。

接着，经过步骤 S110，临时决定色调制光阀的各像素的透过率  $T_2$ 。当设色调制光阀的左上 4 个分区的像素为  $p_{21}$  (左上)、 $p_{22}$  (右上)、 $p_{23}$  (左下)、 $p_{24}$  (右下) 时，如图 11 所示，像素  $p_{21} \sim p_{24}$  的透过率  $T_2$  被

赋予初始值  $T_{20}$ 。

图 12 是表示算出色调制光阀的像素单位的辉度调制光阀的透过率  $T_{1'}$  的情况的图。

接着，经过步骤 S112，算出色调制光阀的像素单位的辉度调制光阀的透过率  $T_{1'}$ 。从像素  $p_{21} \sim p_{24}$  来看，与之对应的辉度调制光阀的透过率  $T_{11} \sim T_{14}$ ，如图 12 所示，将像素  $p_{21} \sim p_{24}$  的光调制率设为  $T_{p1} \sim T_{p4}$ ，将增益  $G$  设为“1”，则可通过下式 (3) ~ (6) 算出。

下面，实际地使用数值进行计算。当  $T_{p1}=0.00012$ ， $T_{p2}=0.05$ ， $T_{p3}=0.02$ ， $T_{p4}=0.01$ ， $T_{20}=0.1$  时，通过下式 (3) ~ (6) 算出  $T_{11}=0.0012$ ， $T_{12}=0.5$ ， $T_{13}=0.2$ ， $T_{14}=0.1$ 。

$$T_{11}=T_{p1}/T_{20} \dots (3)$$

$$T_{12}=T_{p2}/T_{20} \dots (4)$$

$$T_{13}=T_{p3}/T_{20} \dots (5)$$

$$T_{14}=T_{p4}/T_{20} \dots (6)$$

图 13A、图 13B 和图 13C 是表示确定辉度调制光阀的各像素的透过率  $T_1$  的情况下的图。

接着，经过步骤 S114，确定辉度调制光阀的各像素的透过率  $T_1$ 。当设辉度调制光阀的左上四个分区的像素为  $p_{11}$ （左上）、 $p_{12}$ （右上）、 $p_{13}$ （左下）、 $p_{14}$ （右下）时，如图 13A 所示，像素  $p_{11}$  由于色调制光阀与辉度调制光阀的分辨率不同，所以与像素  $p_{21} \sim$  像素  $p_{24}$  在光路上重合。由于色调制光阀的分辨率为  $18 \times 12$ ，辉度调制光阀的分辨率为  $15 \times 10$ ，所以像素  $p_{11}$  从分辨率的最小公倍数可分割为  $6 \times 6$  的矩形区域。另外，如图 13B 所示，像素  $p_{11}$  与像素  $p_{21} \sim p_{24}$  重合的面积比为 25: 5: 5: 1。因此，如图 13C 所示，像素  $p_{11}$  的透过率  $T_{15}$  可由下式 (7) 算出。

下面，实际地使用数值进行计算。当  $T_{11}=0.0012$ ， $T_{12}=0.5$ ， $T_{13}=0.2$ ， $T_{14}=0.002$  时，由下式 (7) 算出  $T_{15}=0.1008$ 。

$$T_{15}=(T_{11} \times 25+T_{12} \times 5+T_{13} \times 5+T_{14} \times 1)/36 \dots (7)$$

像素  $p_{12} \sim p_{14}$  的透过率  $T_{16} \sim T_{18}$ ，与像素  $p_{11}$  同样，可以通过算出

由面积比得出的加权平均值而求出。

接着，经过步骤 S116，对于辉度调制光阀的各个像素的每个像素，将对应根据该像素算出的透过率 T1 的控制值从控制值登记表 400 中读出，将读出的控制值确定为该像素的控制值。例如，由于  $T_{15}=0.1008$ ，当参照控制值登记表 400 后，如图 7 所示，0.09 成为最接近的值。因此，从控制值登记表 400 中读出“8”作为像素 p11 的控制值。

图 14A、图 14B 和图 14C 是表示确定色调调制光阀的各像素的透过率 T2 的情况的图。

接着，经过步骤 S118，确定色调调制光阀的各像素的透过率 T2。如图 14A 所示，像素 p24 由于色调调制光阀与辉度调制光阀的分辨率不同，与像素 p11 ~ 像素 p14 在光路上重合。由于色调调制光阀的分辨率为  $18 \times 12$ ，辉度调制光阀的分辨率为  $15 \times 10$ ，所以像素 p24 从分辨率的最小公倍数可分割为  $5 \times 5$  的矩形区域。另外，如图 14B 所示，像素 p24 与像素 p11 ~ p14 重合的面积比为 1: 4: 4: 16。因此，从像素 p24 来看，与其对应的辉度调制光阀的透过率 T19 可通过下式 (8) 算出。另外，像素 p24 的透过率 T24，当设增益 G 为“1”时，如图 14C 所示，可以通过下式 (9) 算出。

下面，实际地使用数值进行计算。当  $T_{15}=0.09, T_{16}=0.33, T_{17}=0.15, T_{18}=0.06, T_{p4}=0.01$  时，通过下式 (8)、(9) 算出  $T_{19}=0.1188, T_{24}=0.0842$ 。

$$T_{19} = (T_{15} \times 1 + T_{16} \times 4 + T_{17} \times 4 + T_{18} \times 16) / 25 \dots (8)$$

$$T_{24} = T_{p4} / T_{19} \dots (9)$$

关于像素 p21 ~ p23 的透过率 T21 ~ T23，与像素 p24 同样，可以通过算出由面积比得出的加权平均值来求出。

接着，经过步骤 S120，对于色调调制光阀的每个像素，将对应根据像素算出的透过率 T2 的控制值从控制值登记表 420R ~ 420B 中读出，将读出的控制值确定为该像素的控制值。例如，当液晶光阀 40R 的像素 p24 的  $T_{24}=0.0842$  时，参照控制值登记表 420R 后，如图 8 所示，0.07 为最接近的值。因此，从控制值登记表 420R 中读出“7”作为像素 p24 的控制值。

另外，经过步骤 S122，确定的控制值被输出到光阀驱动装置 80 中。

由此，分别驱动辉度调制光阀和色调制光阀，在辉度调制光阀与色调制光阀的像素面上形成光学像。

在投影型显示装置 100 中，通过辉度调制光阀将来自光源 10 的光一次调制，通过分色镜 44a、44b 将来自辉度调制光阀的光分离成 RGB 三原色的光，被分离的光分别地入射各色调制光阀。此时，辉度调制光阀的光学像通过中继透镜 16 在各色调制光阀的像素面上成像。另外，通过各色调制光阀，将来自中继透镜 16 的光分别地二次调制，通过分色棱镜 48 合成来自各色调制光阀的光而显示图像。

这样，在本实施例中，具有光源 10、包括可独立地控制透过率 T1 的多个像素的辉度调制光阀、将来自辉度调制光阀的光分离成 RGB 三原色的光的分色镜 44a 和 44b、包括分别入射由分色镜 44a 和 44b 分离的光并且可独立地控制透过率 T2 的多个像素的多个色调制光阀、合成来自各个色调制光阀的光的分色棱镜 48，在辉度调制部 14 和色调制部 18 的光路上设置了将辉度调制光阀的光学像在各个色调制光阀的像素面上成像的中继透镜 16。

由此，由于通过辉度调制光阀和色调制光阀调制来自光源 10 的光，因此可实现比较高的辉度动态范围和灰度级。另外，由于通过中继透镜 16 将辉度调制光阀的光学像在各个色调制光阀的像素面上成像，所以可将辉度调制光阀的光学像精度比较高地成像在色调制光阀的像素面上，并且由于可以不必将辉度调制光阀的像素面减小，所以可以进行较高精度的调制。因此，与以往相比，可降低图像质量劣化的可能性。另外，由于照明光学系统的光学部件可以不必使用高精度的部件，所以可以抑制成本的升高。

另外，在本实施例中，在到达各个色调制光阀的多条光路中的光路长度最长的光路上设置了将辉度调制光阀的光学像在与其光路对应的色调制光阀的像素面上成像的副中继透镜 50a、50b 和场透镜 42B2。

由此，如图 1 所示，即使采用到达各个色调制光阀的光路长度不同的结构，也可以将辉度调制光阀的光学像精度比较高地成像在色调制光阀的像素面上。

进而，在本实施例中，以使通过副中继透镜 50a 在场透镜 42B2 上成像的辉度调制光阀的正立光学像通过副中继透镜 50b 在色调调制光阀的像素面上形成倒立光学像的方式配置副中继透镜 50a、50b 和场透镜 42B2。

由此，可以使辉度调制光阀的光学像以基本相同的辉度分布在各个色调调制光阀的像素面上成像。

进而，在本实施例中，辉度调制光阀和色调调制光阀为液晶光阀。

因此，由于可以利用现有的光学部件，所以可以进一步地抑制成本的升高。

进而，在本实施例中，在光源 10 与辉度调制部 14 的光路上设置了可使来自光源 10 的光的辉度分布均匀化的辉度分布均匀化部 12。

由此可降低产生辉度不均匀的可能性。

进而，在本实施例中，辉度分布均匀化部 12 具有使来自光源 10 的光在可入射辉度调制光阀的偏振方向上偏振的偏振变换元件 12c。

因此，由于来自光源 10 的光量的多数成为辉度调制光阀的调制对象，所以可以提高显示图像的辉度。

进而，在本实施例中，临时决定色调调制光阀的各像素的透过率  $T_2$ ，根据临时决定的透过率  $T_2$  和 HDR 显示数据确定辉度调制光阀的各像素的透过率  $T_1$ ，根据确定的透过率  $T_1$  确定辉度调制光阀的各像素的控制值，根据确定的透过率  $T_1$  和 HDR 显示数据确定色调调制光阀的各像素的透过率  $T_2$ ，根据确定的透过率  $T_2$  确定色调调制光阀的各像素的控制值。

因此，由于后确定决定显示分辨率的色调调制光阀的透过率  $T_2$ ，所以可抑制误差的影响，从而可以降低图像质量劣化的可能性。进而，由于即使不保持与灰度级相当的数的灰度表也可，所以尽管使灰度级增大灰度表的尺寸和生成时间也不会有很大的增加。

进而，在本实施例中，根据临时决定的透过率  $T_2$  和 HDR 显示数据算出色调制光阀的像素单位的辉度调制光阀的透过率  $T_1'$ ，并根据算出的透过率  $T_1'$  算出辉度调制光阀的各像素的透过率  $T_1$ 。

当辉度调制光阀和色调调制光阀具有各自不同的分辨率时，与根据临时

决定的透过率  $T_2$  直接地算出辉度调制光阀的各像素的透过率  $T_1$  相比, 先根据临时决定的透过率  $T_2$  算出色调制光阀的像素单位的辉度调制光阀的透过率  $T_1'$ , 再算出辉度调制光阀的各像素的透过率  $T_1$  的处理比较简单。因此, 在辉度调制光阀和色调制光阀分别具有不同的分辨率的情况下, 可以比较简单地算出辉度调制光阀的各像素的透过率  $T_1$ 。

进而, 在本实施例中, 就辉度调制光阀的各个像素的每个像素, 根据对于与该像素在光路上重合的色调制光阀的像素算出的透过率  $T_1'$  算出该像素的透过率  $T_1$ 。

由此, 在辉度调制光阀和色调制光阀分别具有不同的分辨率的情况下, 由于辉度调制光阀的各像素的透过率  $T_1$  相对于与该像素在光路上重合的色调制光阀的像素的透过率  $T_2$  成为比较适当的值, 所以可以进一步地降低图像质量劣化的可能性。另外, 可以更简单地算出辉度调制光阀的各像素的透过率的  $T_1$ 。

进而, 在本实施例中, 就辉度调制光阀的各个像素的每个像素, 将对于与该像素在光路上重合的色调制光阀的像素算出的透过率  $T_1'$  的加权平均值作为该像素的透过率  $T_1$  算出。

由此, 在辉度调制光阀和色调制光阀分别具有不同的分辨率的情况下, 由于辉度调制光阀的各个像素的透过率  $T_1$  相对于与该像素在光路上重合的色调制光阀的像素的透过率  $T_2$  成为比较适当的值, 所以可以进一步地降低图像质量劣化的可能性。另外, 可更简单地算出辉度调制光阀的各像素的透过率  $T_1$ 。

进而, 在本实施例中, 对于色调制光阀的每个像素, 根据对于与该像素在光路上重合的辉度调制光阀的像素确定的透过率  $T_1$  算出该像素的透过率  $T_2$ 。

因此, 在辉度调制光阀和色调制光阀分别具有不同的分辨率的情况下, 由于色调制光阀的各像素的透过率  $T_2$  相对于与该像素光路上重合的辉度调制光阀的像素的透过率  $T_1$  成为比较适当的值, 所以可以进一步地降低图像质量劣化的可能性。另外, 可以比较简单地算出色调制光阀的各像素

的透过率  $T_2$ 。

进而，在本实施例中，对于色调制光阀的每个像素，算出对于与该像素在光路上重合的辉度调制光阀的像素确定的透过率  $T_1$  的加权平均值，根据该平均值算出该像素的透过率  $T_2$ 。

因此，在辉度调制光阀和色调制光阀分别具有不同的分辨率的情况下，由于色调制光阀的各像素的透过率  $T_2$  相对于与该像素光路上重合的辉度调制光阀的像素的透过率  $T_1$  成为更加适当的值，所以可以进一步地降低图像质量劣化的可能性。另外，可以更简单地算出色调制光阀的各像素的透过率  $T_2$ 。

进而，在本实施例中，分别地利用辉度调制光阀作为第一级的光调制元件，利用色调制光阀作为第二级的光调制元件。

因此，由于只要在现有的投影型显示装置上仅追加一个光调制元件即可，所以可以比较容易地构成投影型显示装置 100。

在上述实施例中，辉度调制光阀对应于第一发明到第十四发明的第一光调制元件，色调制光阀对应于第一发明到第五发明、第八发明到第十二发明的第二光调制元件，辉度分布均匀化部 12 对应于第六、第七或第十三发明的辉度分布均匀化装置。另外，分色镜 44a、44b 对应于第一发明到第三发明、第八发明到第十发明的光分离装置，分色棱镜 48 对应于第二或第九发明的光合成装置，副中继透镜 50a、50b 和场透镜 42B2 对应于第三、第四、第十或第十一发明的第二中继透镜。

另外，上述实施例中，副中继透镜 50a 对应于第四或第十一发明的第一副中继透镜，副中继透镜 50b 对应于第四或第十一发明的第二副中继透镜。

另外，在上述实施例中，虽然由于采用了将来自辉度调制光阀的光分离成 RGB 三原色的光的结构，所以构成为在从分色镜 44b 到液晶光阀 40B 的光路上设置副中继透镜 50a、50b 和场透镜 42B2，但并不局限于此，如图 15 所示，在采用将来自辉度调制光阀的光分离成 RGB 三原色中的两原色的光的结构的情况下不需要设置副中继透镜 50a、50b 和场透镜 42B2。

图 15 是表示投影型显示装置 100 的其它的硬件结构的框图。

如图 15 所示, 投影型显示装置 100 由光源 10、辉度分布均匀化部 12、辉度调制部 14、中继透镜 16、色调制部 18 和投影部 20 构成。

色调制部 18 由两片液晶光阀 40RB 和 40G、两片场透镜 42RB 和 42G、一片分色镜 44a、两片反射镜 46a 和 46b、以及分色棱镜 48 构成。首先, 来自中继透镜 16 的光由分色镜 44a 分离成 RGB 两原色(红色和蓝色)和 RGB 单原色(绿色)的光, 并且通过场透镜 42RB、42G 和反射镜 46a、46b 入射到液晶光阀 40RB、40G 上。然后, 由液晶光阀 40RB、40G 调制分离的 RGB 两原色和单原色的光的辉度, 再由分色棱镜 48 将调制的 RGB 三原色的光聚光而向投影部 20 射出。

由此, 由于不设置副中继透镜 50a 和 50b、场透镜 42B1 ~ 42B3 和液晶光阀 40B 也可以, 所以可以降低制造成本。

另外, 在上述实施例中, 虽然作为液晶光阀 30、40R ~ 40B 使用有源矩阵型的液晶显示元件构成, 但并不限于此, 作为液晶光阀 30、40R ~ 40B 也可以使用无源矩阵型的液晶显示元件和分段型的液晶显示元件构成。有源矩阵型的液晶显示元件具有可进行精确的灰度显示的优点, 无源矩阵型的液晶显示元件和分段型的液晶显示元件具有可进行低成本制造的优点。

另外, 在上述实施例中, 由于辉度调制光阀由一片液晶光阀 30 构成, 因而构成为准备一个控制值登记表 400, 并根据控制值登记表 400 确定辉度调制光阀的各像素的控制值, 但并不局限于此, 也可以构成为对于 RGB 三原色的各种原色准备控制值登记表 400R、400G、400B, 并根据控制值登记表 400R ~ 400B 确定辉度调制光阀的各像素的控制值。由于辉度调制光阀调制光的全波长区域的辉度, 所以在控制值登记表 400 中登记代表的波长的光的透过率。但是, 对于 RGB 三原色的各个波长并不一定是登记的透过率。

因此, 对于辉度调制光阀, 严格地测定与 RGB 三原色的每种原色的控制值对应的透过率而构成控制值登记表 400R ~ 400B。接着, 对于 RGB 三原色的每种原色确定辉度调制光阀的各像素的透过率 T1, 从控制值登记

表 400R 中检索与对于 R 算出的透过率 T1 最接近的透过率，并读出与通过检索而检索出的透过率对应的控制值。同样地，根据对于 G 算出的透过率 T1 和对于 B 算出的透过率 T1 从控制值登记表 400G、400B 中读出对应的控制值。然后，将对于辉度调制光阀的同一像素读出的控制值的平均值等作为该像素的控制值算出。

因此，由于辉度调制光阀的各像素的控制值相对于与该像素在光路上重合的色调制光阀的像素的 RGB 三原色的每种原色的透过率成为比较适当的值，所以可以进一步地降低图像质量劣化的可能性。

另外，在上述实施例中，构成为将色调制光阀作为决定显示分辨率的光调制元件，但并不局限于此，也可以构成为将辉度调制光阀作为决定显示分辨率的光调制元件。在这种情况下，在确定了色调制光阀的各像素的透过率 T1（将先确定的光调制元件的透过率作为 T1。）之后，再确定辉度调制光阀的各像素的透过率 T2（将后确定的光调制元件的透过率作为 T2）。另外，与上述同样，也可以构成为对于 RGB 三原色的各种原色准备控制值登记表 400R ~ 400B，并根据控制值登记表 400R ~ 400B 确定辉度调制光阀的各像素的控制值。

具体地，对于 RGB 三原色的每种原色确定辉度调制光阀的各像素的透过率 T2，从控制值登记表 400R 中检索与对于 R 算出的透过率 T2 最接近的透过率，读出与通过检索而检索出的透过率对应的控制值。同样地，根据对于 G 算出的透过率 T2 和对于 B 算出的透过率 T2 从控制值登记表 400G、400B 中读出对应的控制值。另外，将对于辉度调制光阀的同一像素读出的控制值的平均值等作为该像素的控制值算出。

因此，由于辉度调制光阀的各像素的控制值相对于与该像素在光路上重合的色调制光阀的像素的 RGB 三原色的每种原色的透过率成为比较适当的值，所以可以进一步地降低图像质量劣化的可能性。

另外，在上述实施例中，虽然构成为根据 HDR 显示数据确定辉度调制光阀和色调制光阀的控制值，但当利用通常的各色八位 RGB 图像数据时，通常的 RGB 图像数据的 0 ~ 255 的值并不是辉度的物理量而不过是相

对的 0~255 的值。因此，为了根据通常的 RGB 图像数据进行本发明的显示装置的显示，必须从通常的 RGB 图像确定应显示的物理的辉度  $R_p$  或显示装置整体的透过率  $T_p$ 。

图 16 是表示输入值登记表 440 的数据结构的图。

因此，若使用图 16 的输入值登记表 440，可进行从通常的 RGB 图像的 0~255 的输入值向物理的透过率  $T_p$  的变换，并且，根据该表的透过率  $T_p$  的设定方法可简单地变更相对于通常的 RGB 图像的显示的外观（灰度特性）。由于该表中的透过率  $T_p$  为上式（2）中的  $T_p$ ，所以在确定了该值后，通过进行与上述实施例同样的处理，可进行确定多个光调制元件的透过率  $T_1$ 、 $T_2$  的显示。

图 17 是表示输入值登记表 460 的数据结构的图。

图 17 的输入值登记表 460 为取代透过率  $T_p$  使用辉度  $R_p$  的表。由于该表中的辉度  $R_p$  为上式（1）中的  $R_p$ ，所以在确定了该值后，通过进行与上述实施例同样的处理，可进行确定多个光调制元件的透过率  $T_1$ 、 $T_2$  的显示。

另外，在上述实施例中，虽然构成为对于色调制光阀的每个像素，算出对于与该像素在光路上重合的辉度调制光阀的像素确定的透过率  $T_1$  的加权平均值，并根据该平均值算出该像素的透过率  $T_2$ ，但并不局限于此，也可以构成为，对于色调制光阀的每个像素，以对于与该像素在光路上重合的辉度调制光阀的像素确定的控制值为基础，从控制值登记表 400 中读出与该控制值对应的透过率  $T_{1table}$ ，算出读出的透过率  $T_{1table}$  的加权平均值，并根据该平均值算出该像素的透过率  $T_2$ 。

另外，在上述实施例中，虽然构成为将对于同一像素以 RGB 三原色的每种原色为单位算出的透过率  $T_1'$  的平均值等作为该像素的  $T_1'$  算出。但并不局限于此，也可以构成为，直接地对于 RGB 三原色的每种原色算出透过率  $T_1'$ ，在步骤 S114 中，将对于同一像素以 RGB 三原色的每种原色为单位算出的透过率  $T_1$  的平均值等作为该像素的  $T_1$  算出。

另外，在上述实施例中，虽然构成为对于色调制光阀的每个像素，算

出对于与该像素在光路上重合的辉度调制光阀的像素确定的透过率  $T1$  的加权平均值, 并根据该平均值算出该像素的透过率  $T2$ , 但并不局限于此, 也可以构成为, 对于色调制光阀的每个像素, 算出对于与该像素在光路上重合的辉度调制光阀的像素确定的透过率  $T1$  的最大值、最小值和平均值, 根据该算出值算出该像素的透过率  $T2$ 。

另外, 在上述实施例中, 投影型显示装置 100 由设置透过型的光调制元件构成, 但并不局限于此, 也可以由 DMD (Digital Mirror Device) 等的反射型光调制元件构成辉度调制光阀或色调制光阀。在此情况下, 根据 HDR 显示数据确定反射率。

另外, 在上述实施例中, 虽然为了便于说明使用了像素数和灰度级小的光调制元件, 但即使在使用像素数和灰度级大的光调制元件的情况下也可以进行与上述实施例同样的处理。

另外, 在上述实施例中, 虽然为了便于说明设增益  $G=1.0$ , 但根据硬件结构并不是增益  $G=1.0$ 。另外, 当考虑实际的计算成本时, 最好事先以含有增益  $G$  影响的形式将控制值和透过率登记在控制值登记表中。

另外, 在上述实施例中, 在执行图 9 的流程图所示的处理时, 虽然对执行在 ROM72 中预先存储的控制程序的情况进行了说明, 但并不局限于此, 也可以从存储表示这些步骤的程序的存储媒体中将该程序读入 RAM74 中而执行。

在此, 所谓存储媒体是指 RAM、ROM 等的半导体存储媒体; FD、HD 等的磁存储型存储媒体; CD、CDV、LD、DVD 等的光学读取方式存储媒体; MO 等的磁存储型/光学读取方式的存储媒体等, 包括不管是电的、磁的、还是光学等的读取方法而只要是可以由计算机读取的任何存储媒体。

另外, 如图 1 所示, 在上述实施例中, 虽然将本发明的光学系统的光传播结构和光学显示装置、以及光学系统的光传播方法和光学显示装置的显示方法应用于投影型显示装置 100, 但并不局限于此, 在不脱离本发明的宗旨的范围内也可以应用于其它情况。

另外, 在上述实施例中, 虽然作为将前级的液晶光阀的光学像成像在

后级的液晶光阀上的中继光学系统使用主要由透过型的光学元件构成的中继透镜，但并不局限于此，也可以使用主要由反射型的光学元件（反射镜）构成的反射型的中继光学系统。

图 18 ~ 图 20 表示由反射镜构成的反射型的中继光学系统的结构例。

图 18 的中继光学系统构成为，通过一个凹面反射镜 500 将前级光阀 501 的光学像成像在后级光阀 502 上。即，在该中继光学系统中，通过一次反射使成像关系（两个光阀 501、502 基本成为共轭的关系）完成。凹面反射镜 500 可以是球面反射镜，也可以是不具轴对称性的非球面反射镜。

图 19 和图 20 的中继光学系统为了获得高的传播效率而构成为通过多次反射使成像关系完成。即，在图 19 和图 20 的中继光学系统中，为了与图 18 的中继光学系统相比提高光的利用率而在光路上配置了多个反射型光学元件（反射镜）。在这种情况下，由于包括平面反射镜而实现了配置的自由度的提高。

具体地，图 19 的中继光学系统具有两个凹面反射镜 510、511 和用于将凹面反射镜 510 的反射光导向凹面反射镜 511 的平面反射镜 512。来自前级光阀 501 的光束以凹面反射镜 510、平面反射镜 512、凹面反射镜 511 的顺序反射后，入射到后级光阀 502 上。另外，在本例中，平面反射镜 512 具有相当于光阑的功能。另外，凹面反射镜 510 与凹面反射镜 511 也可以形成一体结构。

图 20 的中继光学系统具有两个凹面反射镜 520、521 和两个平面反射镜 522、523。来自前级光阀 501 的光束以凹面反射镜 520、平面反射镜 522、平面反射镜 523、凹面反射镜 521 的顺序反射后，入射到后级光阀 502 上。在平面反射镜 522 与平面反射镜 523 之间的光路上也可以配置光阑。

这样地构成的反射型的中继光学系统对于减小像差（例如色像差）是有利的。即，在反射型的中继光学系统中，可以避免由于使用透过型的光学元件（透镜）而引起的像差（例如色像差）的产生。

另外，图 19 和图 20 所示的中继光学系统由于使用多个反射镜而具有两侧焦阑性。因此，可以真正地实现在后级光阀的画面上形成的像的亮度、

色调、对比度等的均匀化，从而可使图像显示质量良好。

另外，在图 19 和图 20 的中继光学系统中，通过代替平面反射镜而使用凹面反射镜或凸面反射镜（包括各种非球面镜），可以形成容易进行像面的像差修正的结构。

另外，在上述反射型的中继光学系统中所使用的反射镜，除了可以应用在基板上形成铝或银等的金属膜的方式之外，还可以应用具有由电介质多层膜构成的反射膜（增反射膜）的方式、以及使两者组合的方式等。由电介质多层膜构成的反射膜，例如，可以通过在玻璃或硅等的基板上交替地层叠高折射率膜和低折射率膜而形成，利用由膜的交界面上的反射光形成的干涉可获得高的反射率。

以上，虽然说明了本发明的优选的实施例，但本发明并不局限于这些实施例。在不脱离本发明的宗旨的范围内，可以进行结构的增加、省略、置换和其它的变更。本发明并非由所述的说明限定而仅由权利要求的范围来限定。

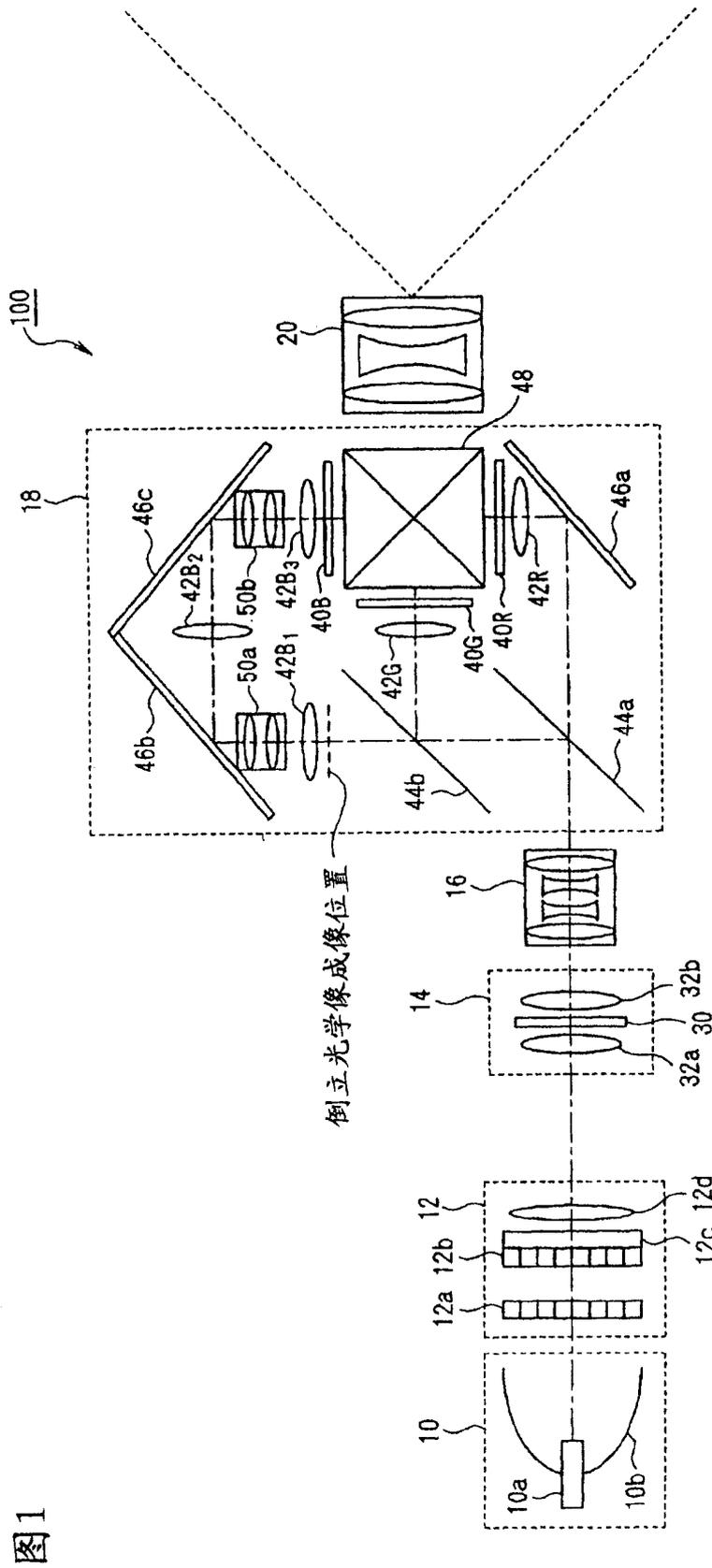


图1

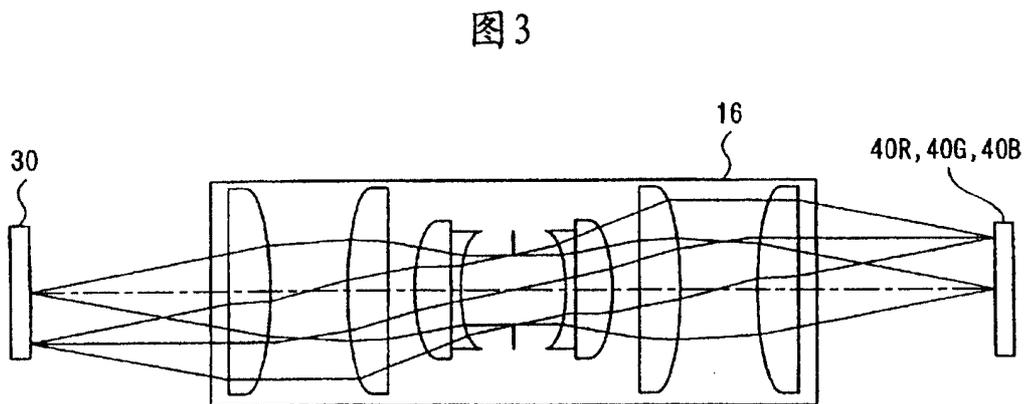
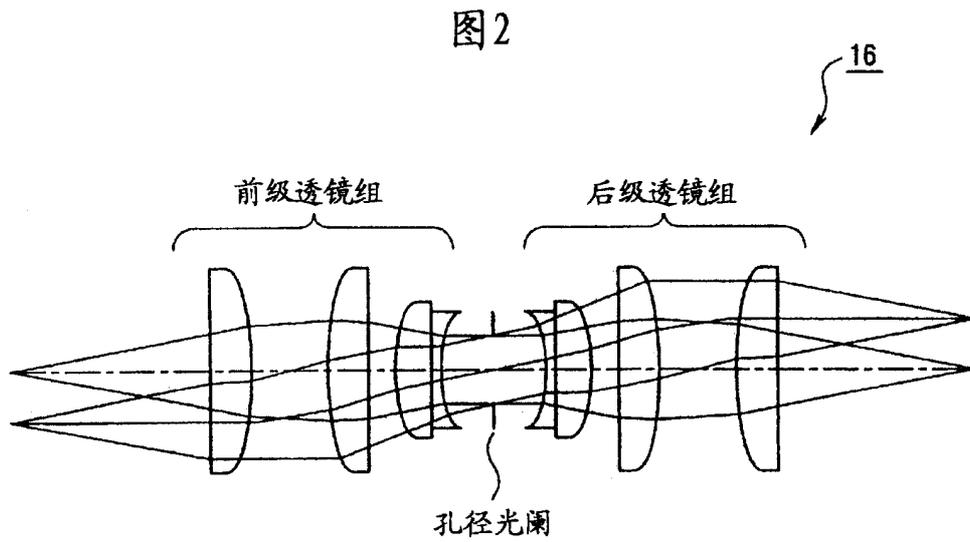


图4A

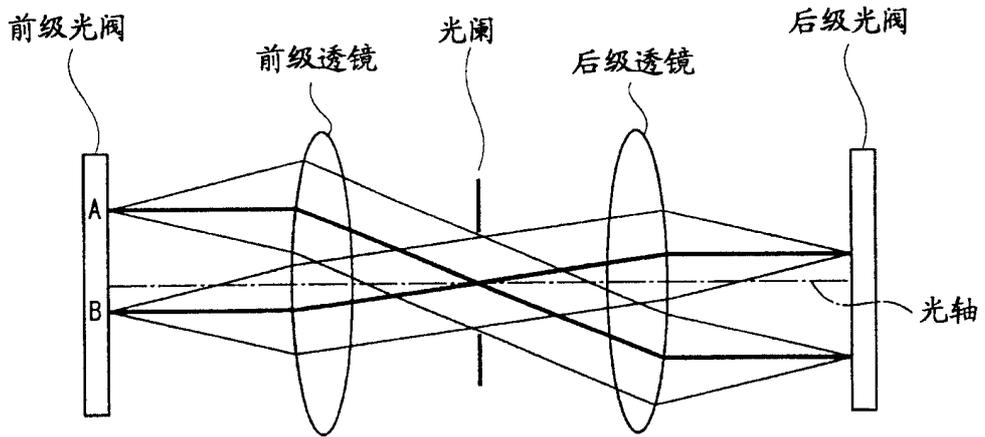


图4B

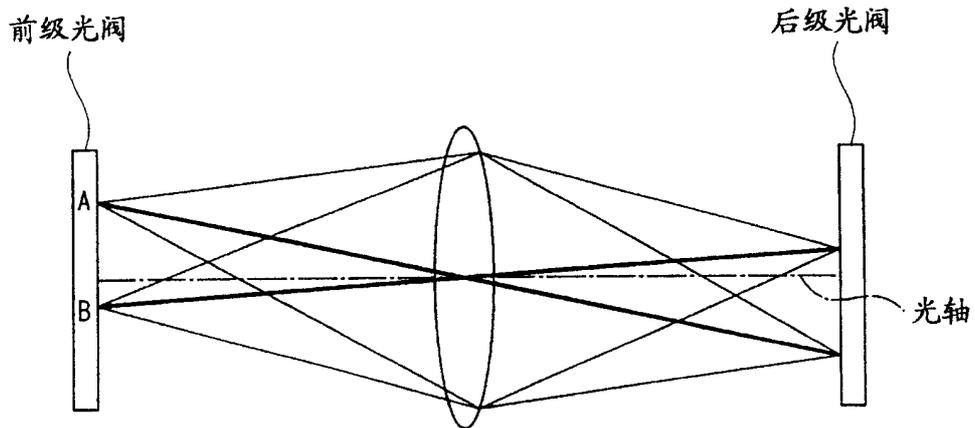


图5A

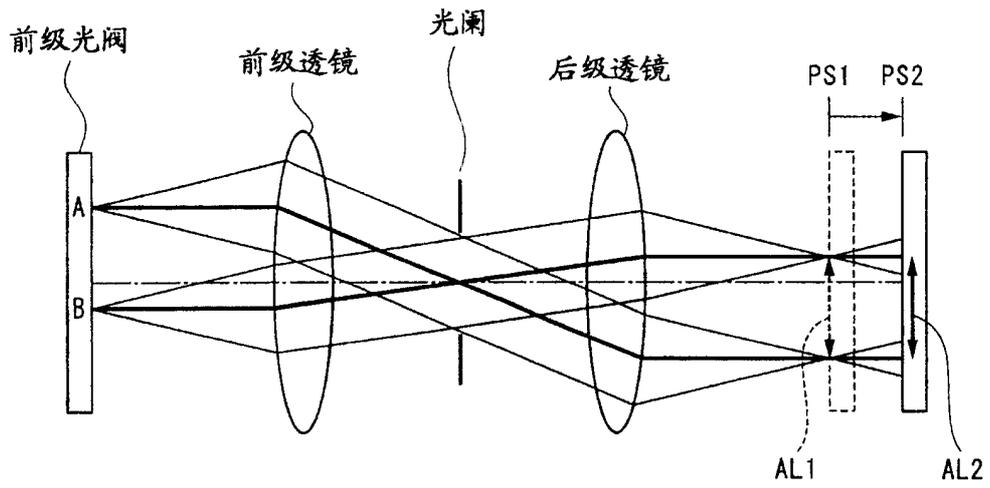


图5B

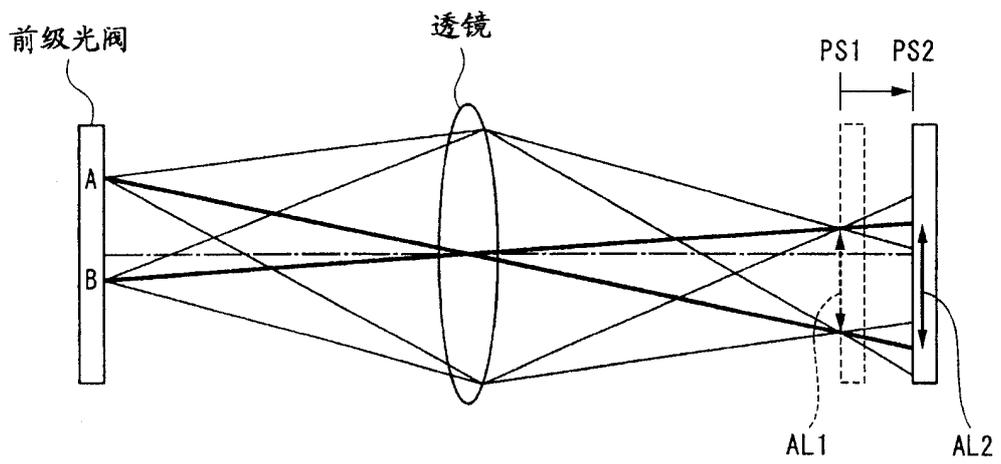


图6

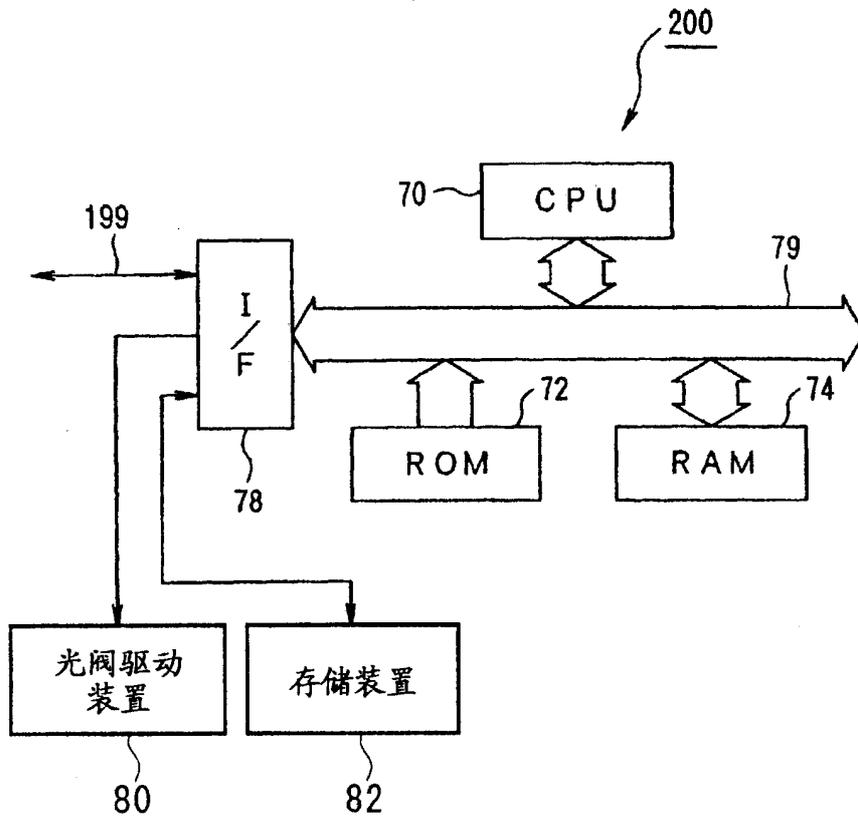


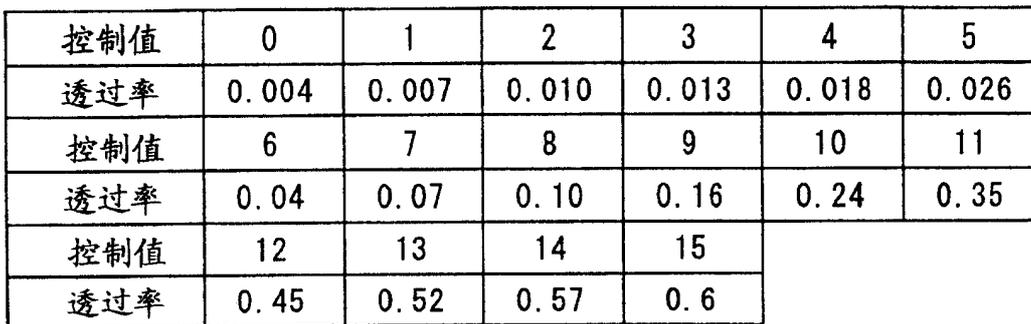
图7

400

控制值	0	1	2	3	4	5
透过率	0.003	0.006	0.009	0.012	0.017	0.025
控制值	6	7	8	9	10	11
透过率	0.038	0.06	0.09	0.15	0.23	0.33
控制值	12	13	14	15		
透过率	0.44	0.52	0.57	0.6		

图8

420R



控制值	0	1	2	3	4	5
透过率	0.004	0.007	0.010	0.013	0.018	0.026
控制值	6	7	8	9	10	11
透过率	0.04	0.07	0.10	0.16	0.24	0.35
控制值	12	13	14	15		
透过率	0.45	0.52	0.57	0.6		

图9

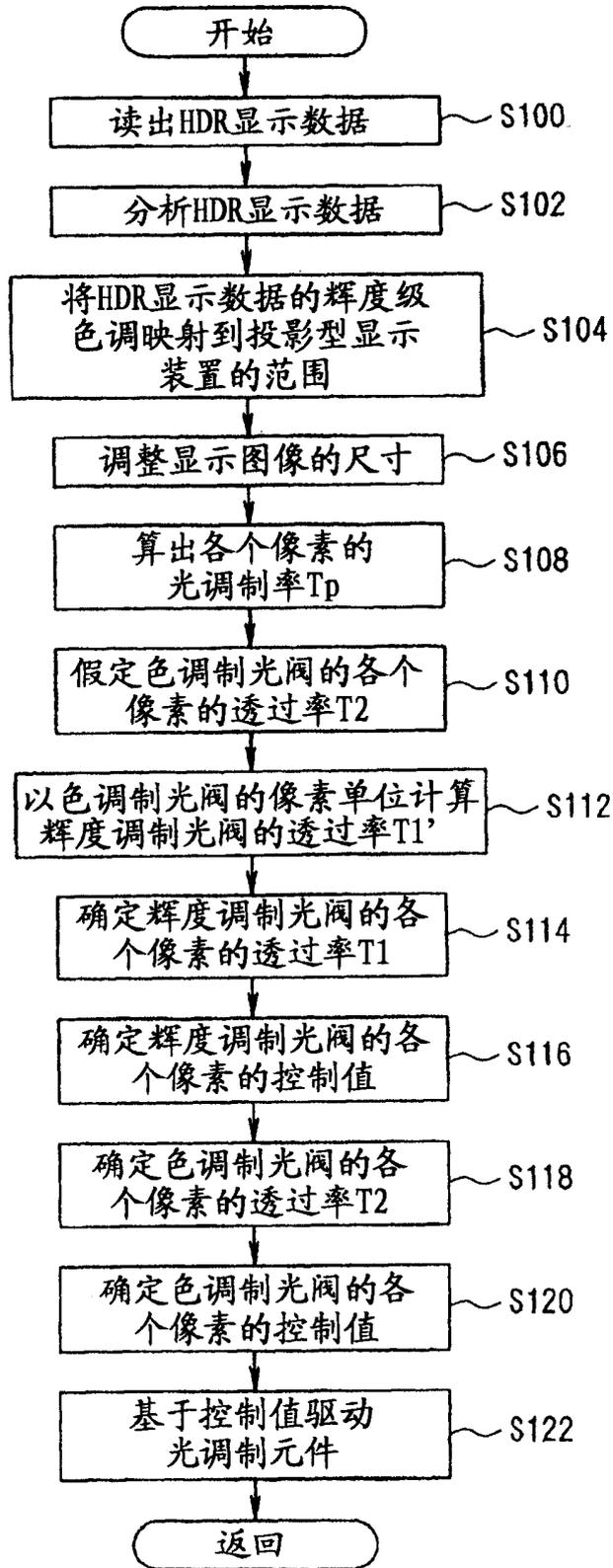
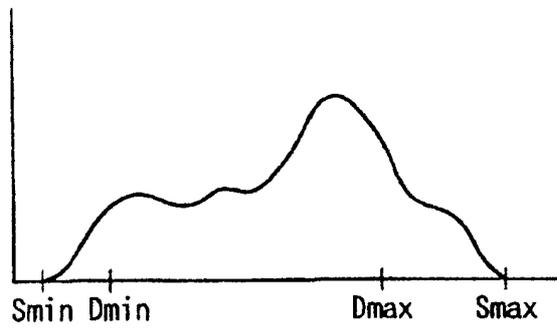


图10



色调映射

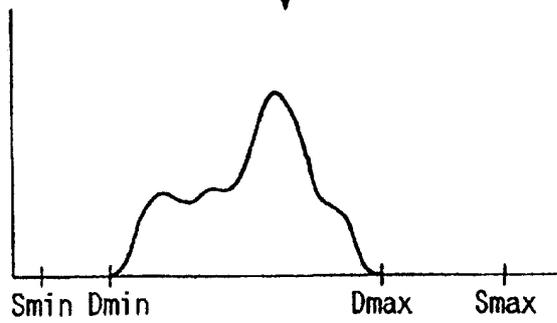


图11

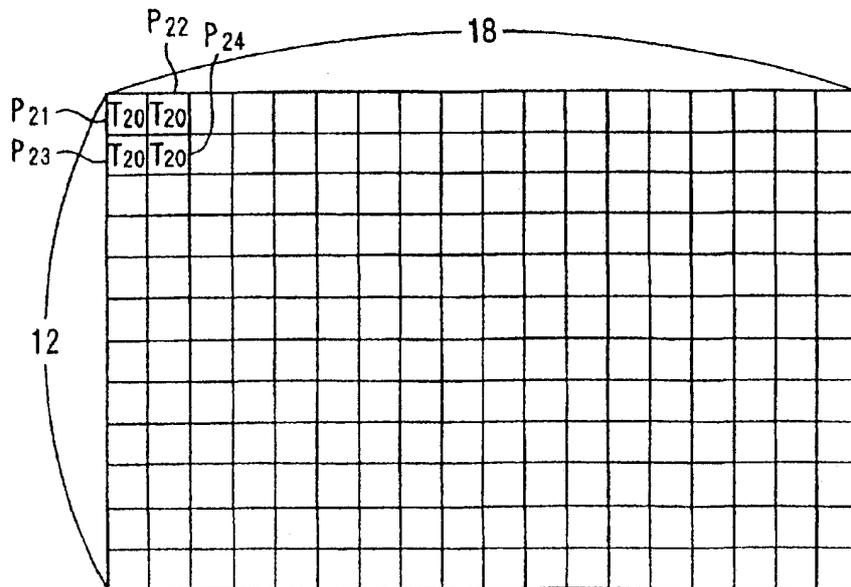


图12

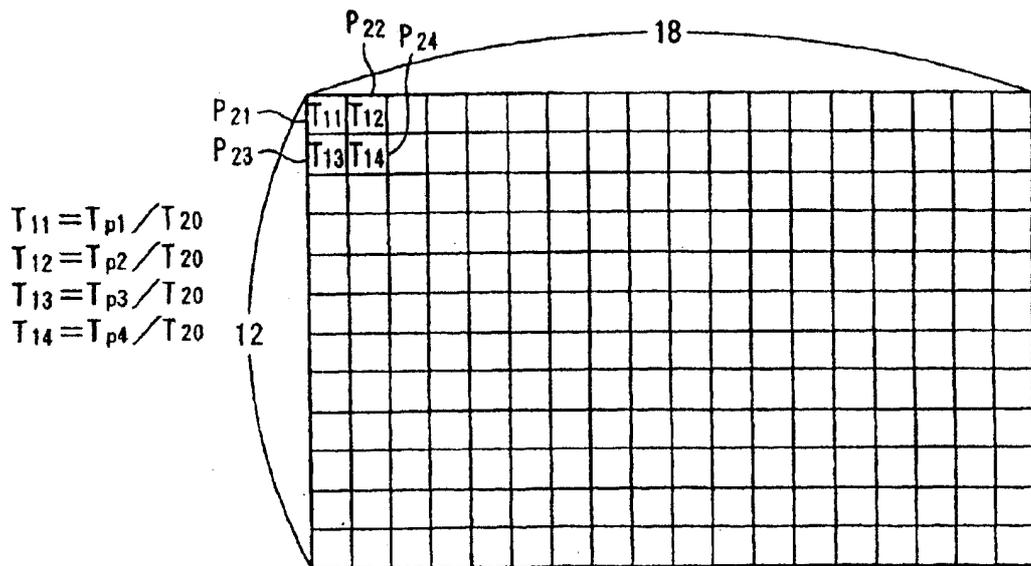


图13A

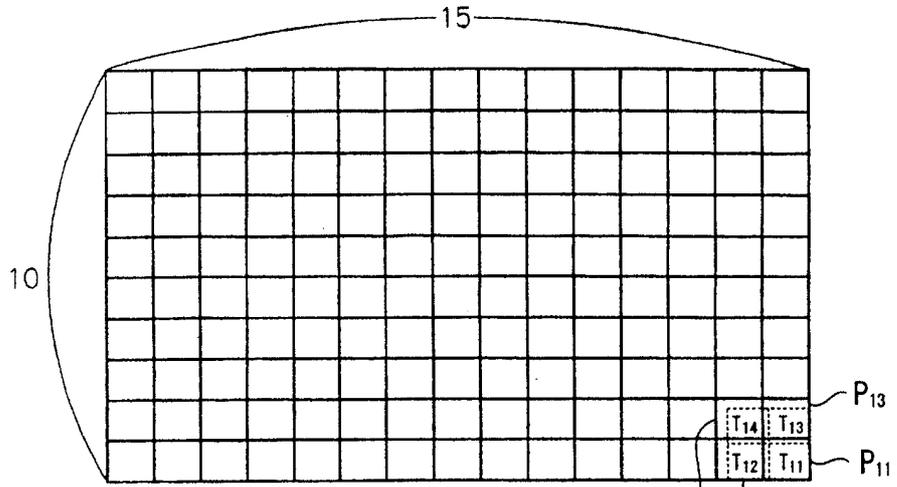
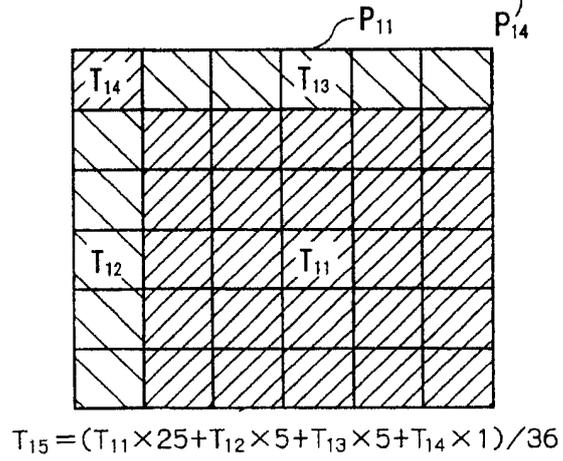


图13B



$$T_{15} = (T_{11} \times 25 + T_{12} \times 5 + T_{13} \times 5 + T_{14} \times 1) / 36$$

图13C

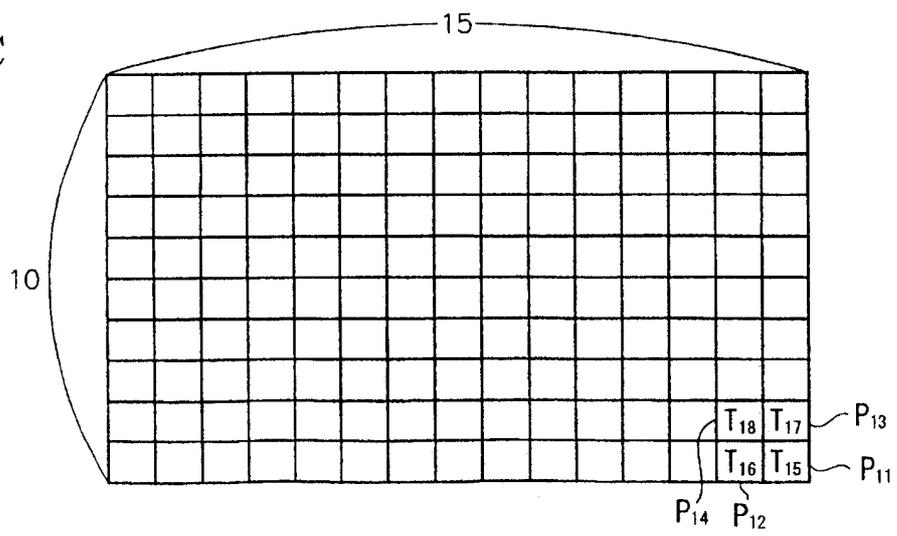


图14A

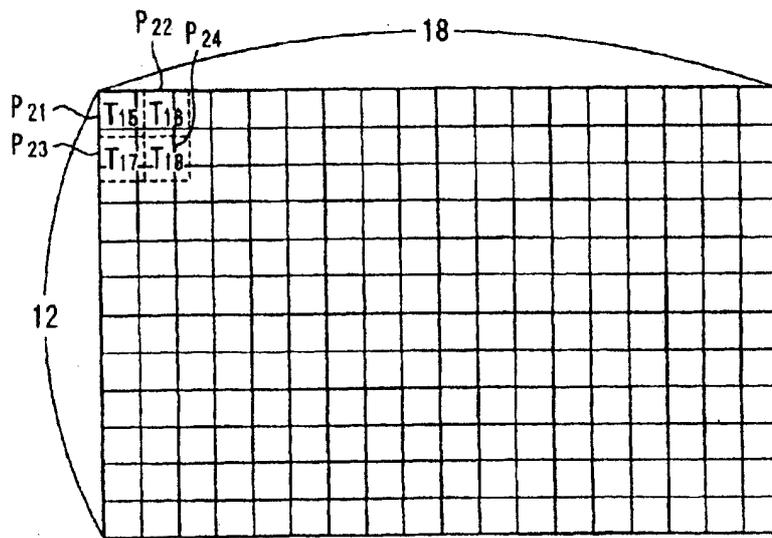
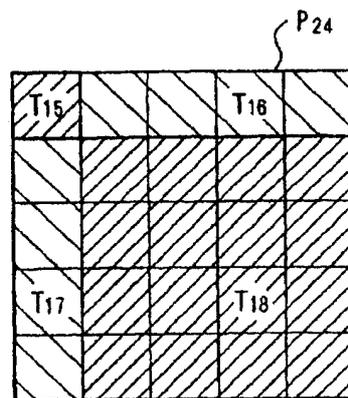


图14B



$$T_{19} = (T_{15} \times 1 + T_{16} \times 4 + T_{17} \times 4 + T_{18} \times 16) / 25$$

图14C

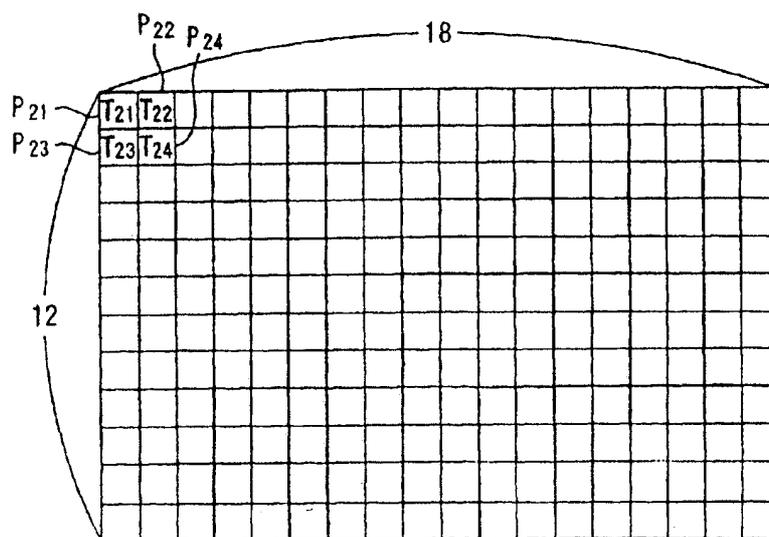


图15

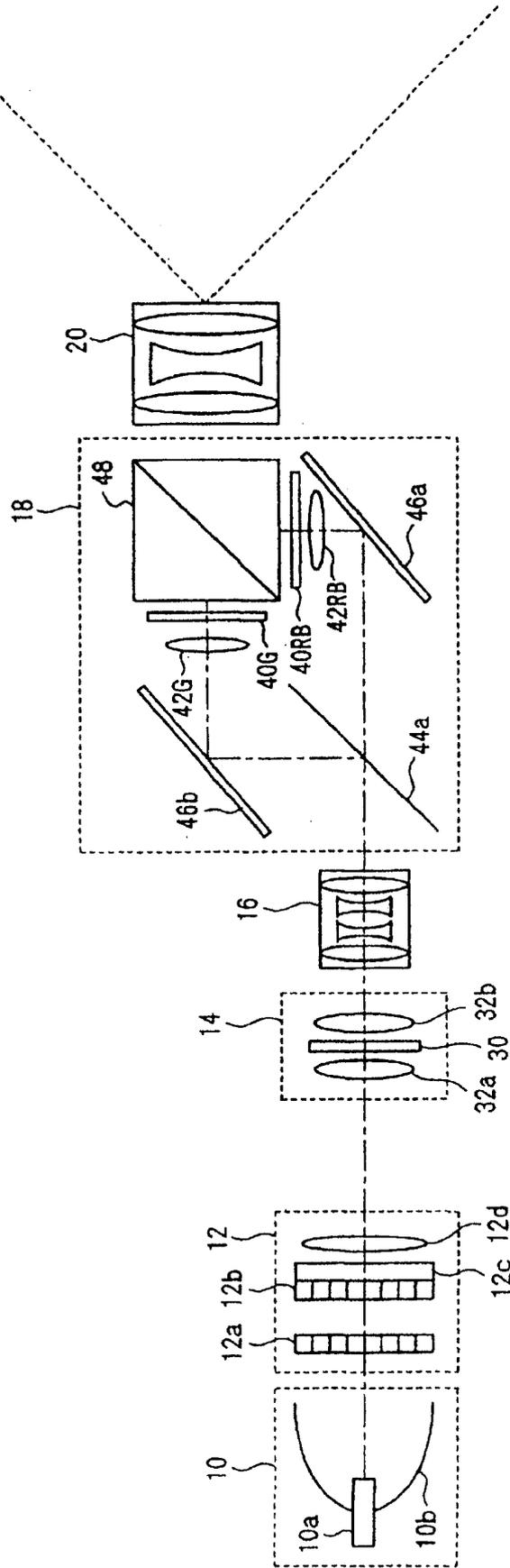


图16

440

输入值	0	1	2	3	4	5
透过率Tp	1.20E-05	5.00E-03	1.00E-02	2.00E-02	3.50E-02	5.50E-02
输入值	6	7	8	9	10	11
透过率Tp	8.00E-02	0.107	0.135	0.165	0.195	0.225
输入值	12	13	14	15		
透过率Tp	0.255	0.29	0.325	0.36		

图17

460

输入值	0	1	2	3	4	5
辉度级Rp	0.012	5.0	10.0	20.0	35.0	55.0
输入值	6	7	8	9	10	11
辉度级Rp	80.0	107.0	135.0	165.0	195.0	225.0
输入值	12	13	14	15		
辉度级Rp	255.0	290.0	325.0	360.0		

图18

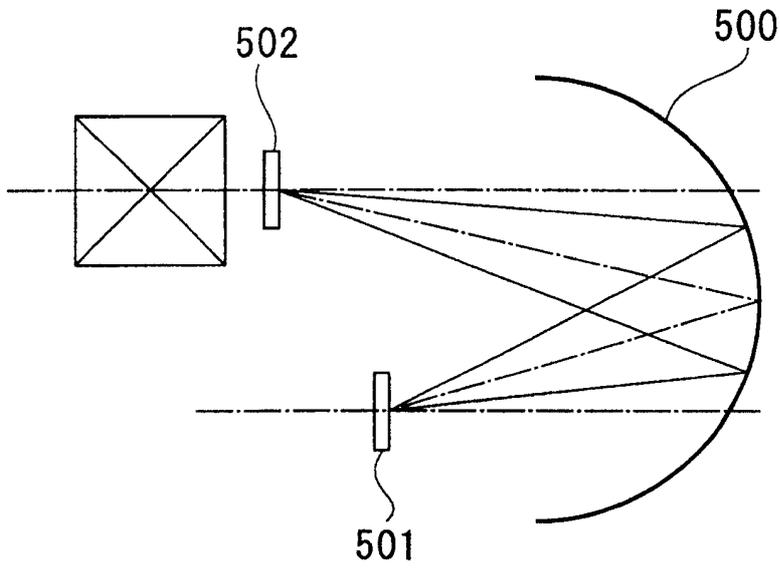


图19

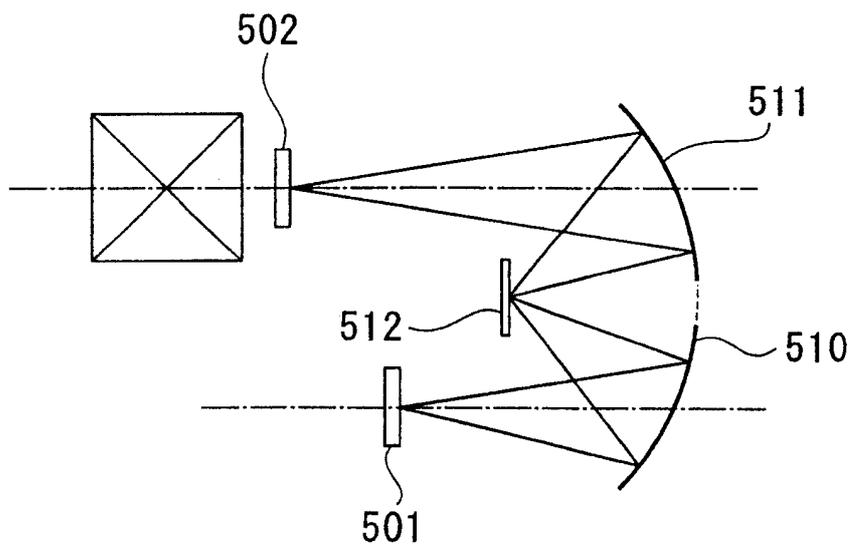


图20

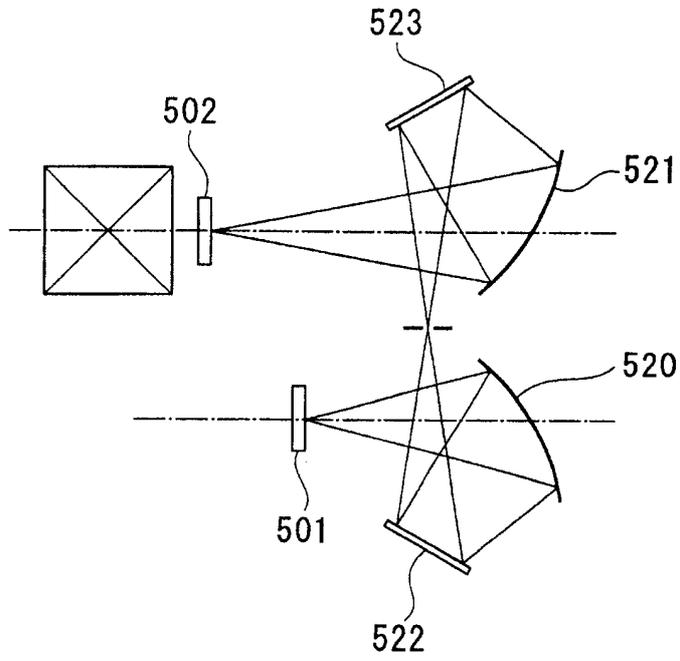


图21

