



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101622576 B

(45) 授权公告日 2011. 10. 19

(21) 申请号 200880006795. X

(22) 申请日 2008. 02. 11

(30) 优先权数据

11/713, 155 2007. 03. 02 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 09. 01

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/001803 2008. 02. 11

(87) PCT申请的公布数据

W02008/108915 EN 2008. 09. 12

(73) 专利权人 朗讯科技公司

地址 美国新泽西州

(72) 发明人 弗拉基米尔·阿纳托利耶维奇·阿克

休克

罗伯特·尤金·弗拉姆

奥马尔·丹尼尔·洛佩兹

罗兰·里夫

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 王波波

(51) Int. Cl.

G03B 21/28(2006. 01)

G02B 26/08(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2003218794 A1, 2003. 11. 27, 说明书第

【0005】段,【0155】段,附图 8,12,13,摘要.

US 2005013005 A1, 2005. 01. 20, 说明书第

【0124】段,附图 4、22-23.

US 2004263802 A1, 2004. 12. 30, 说明书第

【0082】段到第【0106】段,附图 9-12.

US 2004263802 A1, 2004. 12. 30, 说明书第

【0082】段到第【0106】段,附图 9-12.

审查员 门高利

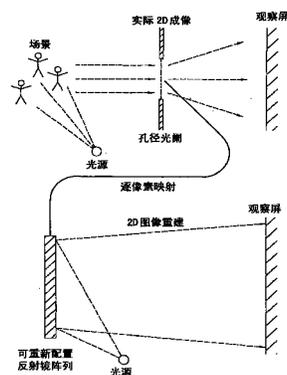
权利要求书 1 页 说明书 17 页 附图 18 页

(54) 发明名称

全息 MEMS 操作的光学投影仪

(57) 摘要

本发明提供了一种利用反射镜的可重新配置阵列来形成图像的方法。该方法包括：通过平移一些反射镜来配置阵列，使得阵列的反射镜与参考平面的距离具有非均匀空间分布。该方法包括：利用相干光束来照射所配置的阵列，使得光束的一部分被阵列反射并投影在平面观察屏上。



1. 一种装置,包括:

包括多个相干光源的光源,每个相干光源被配置为发出与其他相干光源不同颜色的光;

反射镜和 MEMS 致动器的可重新配置阵列,每个反射镜受到相应一个 MEMS 致动器的控制,所述 MEMS 致动器能够以活塞式运动来平移所控制的反射镜;以及

其中,所述光源被配置为利用时分颜色复用光束来照射反射镜。

2. 根据权利要求 1 所述的装置,包括处理器;以及

其中,光源被配置为以大于 20 赫兹的频率在具有第一颜色和具有第二颜色的光束之间变化;以及

其中,处理器被配置为对 MEMS 致动器进行操作,使得阵列的反射镜在所述光束具有第一颜色时具有第一平移空间分布,并且在所述光束具有第二颜色具有第二平移空间分布。

3. 根据权利要求 1 所述的装置,

其中,所述装置被配置为在观察屏上形成图像,使得人类观察到在时间上持续并具有相干光源颜色重叠的图像。

4. 根据权利要求 1 所述的装置,还包括:

分束器,定位为将来自光源的光束改变方向至可重新配置阵列;以及

位于分束器和可重新配置阵列之间的波片。

5. 根据权利要求 1 所述的装置,还包括处理器;以及

其中,反射镜的直径小于由光源产生的光的中心波长的 20 倍;以及

其中,处理器被配置为对 MEMS 致动器进行操作,使得所述阵列在观察屏上形成第一颜色的第一图像,并在观察屏上形成第二颜色的第二图像,使得第一和第二图像具有相同大小。

6. 一种利用反射镜的可重新配置阵列来形成图像的方法,包括:

通过平移一些反射镜来配置所述阵列,使得阵列的反射镜与参考平面的距离具有非均匀空间分布;

利用相干光束来照射所配置的阵列,使得光束的一部分被阵列反射并投影在平面观察屏上。

7. 根据权利要求 6 所述的方法,还包括:

然后通过平移一些反射镜来重新配置所述阵列,使得阵列的反射镜与参考平面的距离具有新的非均匀空间分布;

利用不同颜色的相干光束来再照射重新配置的阵列,使得将不同颜色的光束的一部分投影在平面观察屏上。

8. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括:

在一系列连续时间段的每一个时间段期间,重复配置、照射、重新配置和再照射的动作;以及

其中,每个时间段短于 1/20 秒。

9. 根据权利要求 8 所述的方法,其中,所述反射镜具有比光束的光波长的 20 倍小的最大直径。

10. 根据权利要求 6 所述的方法,其中,所述反射镜具有比光束的光波长的 20 倍小的最大直径。

全息 MEMS 操作的光学投影仪

技术领域

[0001] 本发明涉及用于将光图像投影到反射式观察屏上的装置和方法。

背景技术

[0002] 该部分对有助于更好地理解本发明的相关方面进行了介绍。因此,应当根据这种理解来阅读本部分的陈述。不能将本部分的陈述理解为对哪些内容属于现有技术或者哪些内容不属于现有技术进行了说明。

[0003] 一种类型的图像投影仪是基于俯仰镜 (tiltable mirror) 的二维 (2D) 阵列。通过不相干光源照射 2D 阵列。在阵列中,每个反射镜以取决于该反射镜取向的方式对照射光的一部分进行反射。每一反射镜的取向通过相应的微机电系统 (MEMS) 致动器进行控制。MEMS 致动器使相应的反射镜倾斜,以将照射光或者反射到观察屏上或者不反射到观察屏上。即,每个 MEMS 致动器以开 / 关方式操作相应的反射镜。当使反射镜倾斜以将光点镜面反射到观察屏上时反射镜为开,而当使反射镜倾斜以不将光点镜面反射到观察屏上时反射镜为关。这种倾斜反射镜类型的图像投影仪可以产生各种镜面反射点图像。

发明内容

[0004] 各个实施例提供了基于相干光源的图像投影仪。不同于互不相干光点的图像,新图像投影仪可通过构造相干光波前来形成图像。

[0005] 在一个实施例中,一种装置包括光源以及反射镜和 MEMS 致动器的可重新配置阵列。光源包括多个相干光源。每个相干光源被配置为发出与其余相干光源不同颜色的光。每个反射镜受到相应一个 MEMS 致动器的控制,该 MEMS 致动器能够平移所控制的反射镜。光源被配置为利用时分颜色复用光束来照射反射镜。

[0006] 在一些特定实施例中,所述装置如下:光源被配置为以大于 20 赫兹的频率在具有第一颜色和具有第二颜色的光束之间变动。所述装置可以包括处理器,所述处理器被配置为对 MEMS 致动器进行操作,以使得当光束具有第一颜色时阵列中的反射镜具有第一平移空间分布,并且当光束具有第二颜色时阵列中的反射镜具有不同的第二平移空间分布。

[0007] 在一些特定实施例中,所述装置包括平面观察屏,并被配置为在观察屏上形成人类观察为在时间上持续并且具有相干光源颜色重叠的的图像。观察屏可以非镜面反射入射到其上的光。

[0008] 在一些特定实施例中,所述装置包括:分束器,被定位为将来自光源的光束改变方向至可重新配置阵列;以及波片,位于分束器和可重新配置阵列之间。

[0009] 在所述装置的一些特定实施例中,反射镜的直径小于光源产生的光的波长的 20 倍,并且所述装置包括处理器,所述处理器被配置为对 MEMS 致动器进行操作,以使得阵列在观察屏上形成第一颜色的第一图像并在观察屏上形成第二颜色的第二图像,以使第一和第二图像具有相同大小。

[0010] 在另一实施例中,一种方法利用反射镜的可重新配置阵列来形成图像。所述方法

包括：通过平移一些反射镜来配置所述阵列，使得阵列中的反射镜与参考平面的距离具有非均匀空间分布。该方法包括：利用相干光束对所配置的反射镜进行照射，使得光束的一部分从阵列反射并投影在平面观察屏上。照射可以使观察屏非镜面反射其上投影的光的一部分。

[0011] 在一些特定实施例中，该方法还包括：通过平移一些反射镜来重新配置所述阵列，使得阵列中的反射镜与参考平面的距离具有新的非均匀空间分布；以及利用具有不同颜色的相干光束来再照射重新配置的阵列，使得将不同颜色的光束中的一部分投影到平面观察屏上。该方法还可以包括：在一系列连续时间段中的每一个时间段期间，重复配置、照射、重新配置和再照射的动作。每个时间段可以短于 1/20 秒。

[0012] 在所述方法的一些实施例中，反射镜的最大直径小于光束的光波长的 20 倍。

附图说明

[0013] 图 1 示意性示出了在观察屏上重建二维 (2D) 图像的方式；

[0014] 图 2 是例如根据图 1 的方法对相干光束进行反射以将图像投影在观察屏上的装置的框图；

[0015] 图 3 是例如根据图 1 的方法对相干光束进行反射以产生投影图像的装置的框图；

[0016] 图 4A 是例如可以在图 2 和 3 的装置中使用的示例微机电系统 (MEMS) 致动的微反射镜的斜视图；

[0017] 图 4B 是例如可以在图 2 和 3 的装置中使用的可选 MEMS 致动微反射镜的斜视图；

[0018] 图 5 是示出了例如利用图 2 或 3 的装置在观察屏上形成相干光的投影图像的方法的流程图；

[0019] 图 6 是示出了可以在图 2 和 3 的装置的一些实施例中使用的多色光源的框图；

[0020] 图 7 示出了使用反射镜阵列的单一配置来形成多色投影图像的问题；

[0021] 图 8 是示出了例如使用图 2 或 3 的装置的实施例形成相干光的多色投影图像的方法的流程图；

[0022] 图 9 是示出了确定可重新配置反射镜阵列的配置的第一迭代方法的流程图，其中，该配置适于对入射光束进行相位调制，使得光束例如通过图 2 或 3 的装置将期望图像投影到观察屏上；

[0023] 图 10 是示出了确定可重新配置反射镜阵列的配置的第二迭代方法的流程图，其中，该配置适于对入射光束进行相位调制，使得光束例如用过图 2 或 3 的装置将期望图像投影在观察屏上；

[0024] 图 11A-11E 是对相干光束进行调制以在观察屏上投影图像的各个可选装置的框图；

[0025] 图 12A-12B 示出了可以在图 11A-11E 所示的图像投影装置中的第一透镜系统的傅立叶平面内执行的示例类型的空间滤波；

[0026] 图 13 是基于例如图 11A-11E 的装置中可重新配置空间光调制器阵列的像素和要投影的图像的像素之间的一一对应关系的图像投影方法的流程图；以及

[0027] 图 14A 和 14B 示出了图 13 的图像投影方法中操作可重新配置空间光调制器的可选方式。

- [0028] 在附图和文字中,类似的附图标记指示具有类似或相同功能和 / 或结构的元件。
- [0029] 在附图中,可能对一些特征的相对尺寸进行了放大,以更清楚地示出图中的一个或多个结构或元件。
- [0030] 在各个实施例中,所示的透镜和透镜系统例如可以是消色差双合透镜 (achromatic doublet)。
- [0031] 这里,通过附图和示意实施例的详细描述来更完整地描述各个实施例。然而,本发明可以以各种形式体现,并不限于附图和示意实施例的详细描述中描述的实施例。

具体实施方式

[0032] 尽管基于倾斜反射镜阵列的图像投影仪可以产生大量的光点图像,但是这种图像投影仪不能高效地利用照射光。具体地,典型地照射光的一部分没有被反射镜阵列反射到观察屏上,因此消耗了光。并非将光反射走,这里所描述的图像投影仪的一些实施例在观察屏上重新分布光。

[0033] 由 Vladimir A. Aksyuk、Randy C. Giles、Omar D. Lopez 和 Roland Ryf 于 2007 年 3 月 3 日提交的题为“SPECKLE REDUCTION IN LASER-PROJECTOR IMAGES”的美国专利申请 No. 11/681, 376 ; Randy C. Giles、Omar D. Lopez 和 Roland Ryf 于 2007 年 3 月 3 日提交的题为“DIRECT OPTICAL IMAGE PROJECTORS”的美国专利申请 No. 11/713, 207 ; 以及 Gang Chen、Ronen Rapaport 和 Michael Schabel 于 2007 年 3 月 3 日提交的题为“COLOR MIXING LIGHT SOURCE AND COLOR CONTROL DATA SYSTEM”的美国专利申请 No. 11/713, 483, 其全部内容通过引用合并于此。

[0034] A) 2D 图像的重建形成

[0035] 图 1 示意性示出了形成期望场景的二维 (2D) 相干光图像的方法。

[0036] 为了形成场景的真实 2D 图像,可以用相干光源作为照射光,使得场景散射或透射照射光的一部分,由此产生出射光束。出射光的一部分穿过所选光学孔径,然后将 2D 图像投影到平面观察屏上。在所选光学孔径上,出射相干光束形成相对相位和振幅的图案 (pattern), 所述图案确定将被投影到平面观察屏上的 2D 图像。

[0037] 在所选光学孔径上,可以以逐像素的方式来进行出射相干光束的电或磁场的相对强度和相位的映射 (map)。这种在所选光学孔径上的逐像素映射的可用性提供了对所投影的 2D 图像进行重建的基础。

[0038] 具体地,为了对 2D 图像进行重建,光源能够利用相干光对微反射镜的可重新配置阵列进行照射。可重新配置阵列中的微反射镜被定位为以如下方式来反射照射光:在相同的所选光学孔径上根据近似相同的逐像素映射来产生出射相干光束。即,可重新配置阵列被配置为:在所选光学孔径(例如,出射光束的横截面)上根据相对相位和振幅的近似相同的逐像素映射来产生出射相干光束。如果重建的光束具有与期望场景实际散射和 / 或透射的相干光束相同的所选光学孔径的逐像素映射,则重建光束将相同的图像投影到平面观察屏上。

[0039] 这里,可重新配置反射镜阵列实质上仅对其表面上的入射光束的相位进行调整。然而,所产生的相位空间分布能够以最佳逼近方式确定出射光束的横截面上的相位和振幅的空间分布,所述横截面接近可重新配置反射镜阵列并远离其中的单个微反射镜。因此,可

重新配置反射镜阵列能够在该横截面（即，所选光学孔径）上以最佳逼近方式如上所述重建图像。逐像素映射可以使单个微反射镜与像素相对应，或可以使微反射镜的局部不相交组与像素相对应。在后一种情况下，组中微反射镜的位置在所选光学孔径的相应像素上定义了光的平均相对振幅和相位。

[0040] B) 用于图像投影的全息装置

[0041] 图 2 和 3 示出了根据图 1 所示的方法在平面观察屏 12 上投影图像的示例装置 10、10'。装置 10 包括：相干光源 14、可重新配置反射镜阵列 16、数字数据处理器 18、和数字数据存储装置 20。

[0042] 平面观察屏 12 例如可以是非镜面反射或向回散射入射光的实质上平坦的表面，例如，传统投影屏或白墙。由于观察屏能够非镜面反射或向回散射入射光，观察者 V 能够在大范围的方向上来观看投影到观察屏 12 上的图像。

[0043] 相干光源 14 例如包括光源 22 和扩束光学器件 24。光源 22 包括一个或多个传统可见光半导体激光器。光源 22 产生相干光束 28。相干光束 28 例如可以是线偏振的。扩束光学器件 24 根据由光源 22 输出的光束 28，产生横向宽的相干光束 26，例如，准直光束。扩束光学器件 24 的示例包括折射透镜、折射透镜系统、和非平面反射光学系统。

[0044] 对部分或全部相干光束 26 进行引导，以对装置 10、10' 中的可重新配置反射镜阵列 16 的整个前反射表面进行照射。在装置 10 中，扩束光学器件 24 将宽光束 26 直接引导向可重新配置反射镜阵列 16，即，以斜角引导。在装置 10' 中，扩束光学器件 24 将相干光束 26 引导向光束转向器 30，光束转向器 30 然后改变相干光束 26 的方向以实质上垂直地入射到可重新配置反射镜阵列 16 上。光束转向器 30 例如可以是相对于光束 26 的偏振取向的偏振分束器，以向着可重新配置反射镜阵列 16 的反射表面改变其中多数光或所有光的方向。在这样的实施例中，装置 10' 还可以包括如图 3 所示的四分之一波片 32。波片 32 是双折射片，在从中垂直透射的光束的两个正交线偏振分量之间产生大约 1/4 波长的延迟。波片 32 位于这样的偏振分束器 30 和可重新配置反射镜阵列 16 之间。波片 32 具有的厚度适于使由可重新配置反射镜阵列 16 反射的光到达偏振分束器 30 时具有适于从中透射的近似适当线偏振，即，并非沿着入射相干光束 26 反射回去。

[0045] 可重新配置反射镜阵列 16 包括 MEMS 致动的微反射镜 34 的规则或不规则 2D 阵列，即，微反射镜 34 沿着可重新配置反射镜阵列 16 的一个表面具有实质均匀的空间分布。微反射镜 34 可以是实质上相同的，并可以是圆形、矩形、三角形或正方形，或者可以是非对称形状。每个微反射镜 34 与相应的 MEMS 致动器物理连接，并受相应 MEMS 致动器的控制，即，可重新配置反射镜阵列 16 包括微反射镜 34 的 2D 空间阵列和相应的 MEMS 致动器的 2D 空间阵列。在平面基板 35（即，硅基板）上制造 MEMS 致动器。MEMS 致动器提供独立地控制微反射镜 34 的功能，使得每个微反射镜 34 可垂直于参考平面 36 平移，例如垂直于平面基板 35 的表面或垂直于可重新配置反射镜阵列 16 的平均反射表面。

[0046] 图 4A 示出了图 2-3 的 MEMS 致动的微反射镜 34 的一个示例实施例 34A。微反射镜 34A 包括控制电容 (CC)、复原弹簧 (RS) 和形成反射表面的顶部平面反射镜表面 (MS)（例如，硅或金属平面表面）。控制电容 CC 包括：可移动导电板 (MCP) 和直接固定至平面基板 (PS)（例如图 2 和 3 的平面基板 35）的固定导电板 (FCP)。复原弹簧 RS 经由接线柱 P 结实固定至可移动导电板 MCP，并且在控制电容 CC 放电时提供将反射镜表面 MS 返回至其初始

位置的平移回复力。可移动导电板 MCP 以类似于活塞的运动（例如可以实质上垂直于平面基板 PS 的表面）来平移反射镜表面 MS，使得反射镜表面 MS 的取向在这样的运动期间不会改变。

[0047] 图 4B 示出了图 2-3 的 MEMS 致动的微反射镜 34 的另一实施例 34B。微反射镜 34B 包括：控制电容 (CC')、复原弹簧 (RS)、和顶部平面反射镜表面 (MS)（例如硅或金属平面表面）。控制电容 CC' 包括：可移动导电板 MCP'，和固定至平面基板 PS（例如图 2 和 3 的平面基板 35）的固定导电板 FCP'。复原弹簧 RS 经由接线柱 P 结实地固定至反射镜表面 MS 的平坦结构，并经由另一接线柱 P 固定至下层可移动导电板 MCP'。因此，复原弹簧 RS 位于控制电容 CC' 的外部，使得它的存在和位置实质上不影响板 MCP' 和 FCP' 之间的静电力。可能期望使微反射镜的每个复原弹簧 RS 位于成对板 MCP' 和 FCP' 的外部以避免与控制电容 CC' 的电控制相干扰。当控制电容 CC' 放电时，复原弹簧 RS 提供将反射镜表面 MS 返回至其初始位置的平移回复力。可移动导电板 MCP' 以实质上垂直于平面基板 PS 表面的活塞运动的方式来平移反射镜表面 MS，使得反射镜表面 MS 的取向在这样的运动期间不会改变。反射镜表面 MS 的活塞式平移运动及其最终静止位置受到控制电容 CC' 的导电板 MCP'、FCP' 上施加的电压的控制。

[0048] 例如在 Vladimir A. Aksyuk 等人于 2004 年 12 月 10 日提交的美国专利申请 No. 11/009, 447、Vladimir A. Aksyuk 等人于 2004 年 3 月 31 日提交的美国专利申请 No. 10/813, 951 和 Vladimir A. Aksyuk 等人于 2005 年 5 月 27 日提交的美国专利申请 No. 11/140, 313 中的一个或多个中描述了其他示例 MEMS 致动的微反射镜和 / 或 MEMS 致动的微反射镜的 2D 阵列。这些美国专利申请的全部内容通过引用合并于此。图 2 和 3 的可重新配置反射镜阵列 16 可以包括如以上合并的美国专利申请中的一个或多个所述进行制造或具有其中所述的特征的特征的微反射镜及其阵列，假设其中的单个微反射镜能够经历不会改变微反射镜的角取向的活塞式平移。

[0049] 数字数据处理器 18 产生用于操作对可重新配置反射镜阵列 16 的微反射镜 34 进行控制的 MEMS 致动器的控制信号集。即，每个 MEMS 致动器以响应于来自数字数据处理器 18 的控制信号集的方式，来控制相应微反射镜 34 与参考平面 36 的垂直距离。数字数据处理器 18 针对每个接收到的出射相干光束 44 在所选光学孔径上的电或磁场的相位和可能振幅的逐像素映射，产生一个控制信号集。所选光学孔径可以是就在可重新配置反射镜阵列 16 前面的平坦表面，或可以是既接近可重新配置反射镜阵列 16 又位于同单个微反射镜 34 的最大直径相比较大距离处的出射相干光束 44 的横截面 (CS)。典型地，每个不同的控制信号集使 MEMS 致动器设置微反射镜 34 与参考平面 36 的距离，以具有不同的非均匀空间分布。数字数据处理器 18 典型地针对要投影到观察屏 12 上的每个单色图像，输出用于对微反射镜 34 进行定位的一个控制信号集。针对第一颜色的图像的控制信号集和相应的微反射镜位置空间分布通常将与针对第二颜色的图像的控制信号集和相应的微反射镜位置空间分布不同，即便这两幅图像在观察屏上投影相同的形状，这是由于如下所述的衍射造成的。

[0050] 数字数据存储装置 20 可以存储数字数据处理 18 用来确定控制信号集的图像数据集。图像数据集例如可以包括所选孔径上相对相位的逐像素映射或所选孔径上相对振幅和相对相位的逐像素映射。数据集还可以包括控制电压，用于对微反射镜 34 进行空间定位，以使得从相干光束 26 产生在所选光学孔径上具有这种逐像素映射的出射光束 44。因此，可

重新配置反射镜阵列 15 起到类似全息图的作用,在位于可重新配置反射镜阵列 16 前面的光滑横向限制表面上重建出射光束的期望空间相位分布。数据集经由通信线路或总线 38 传送到数字数据处理器 18。

[0051] 装置 10、10' 还可以包括用于对从可重新配置反射镜阵列 16 反射的出射相干光束 44 进行处理的可选光学元件 40、42。光学元件 40 是可以对出射相干光束 44 的发散进行调整(即,提供放大)的折射透镜系统。元件 42 是光学孔径光阑,例如可以滤除已被可重新配置反射镜阵列 16 衍射成较高衍射级的光。

[0052] C) 投影 2D 图像的放大

[0053] 在图 2 和 3 的装置 10、10' 中,微反射镜 34 可以具有小到足以引起从光源 14 输出、波长为 λ 的入射光发生实质衍射的有效横向线性尺寸。例如,单个微反射镜 34 的有效最大直径典型地大于 λ 并小于 40λ 、 20λ 、 10λ 和 5λ 之一。这里,微反射镜的最大直径是其中能容入微反射镜反射表面的最小圆的直径。这里,有效线性尺寸(例如,有效最大直径)是实际横向线性尺寸乘以在通过装置 10、10' 的输出光学器件观看时(例如当通过图 3 的透镜系统 40 观看时)横向线性尺寸应当具有的放大倍率。

[0054] 单个微反射镜 34 的衍射使由可重新配置反射镜阵列 16 改变方向的光在观察屏 12 上混合和干涉。观察屏 12 上图像的横向大小由单个微反射镜 34 产生的衍射来确定。具体地,这样的衍射使期望小的可重新配置反射镜阵列 16 能够在观察屏 12 上产生适当大的投影图像。

[0055] D) 在观察屏上投影图像的方法

[0056] 图 5 示出了利用图 2 和 3 的全息装置 10、10' 在平面或平坦观察屏上投影 2D 图像的方法 50,例如,投影在非镜面反射观察屏 12 上。

[0057] 方法 50 涉及对能够将期望图像投影到观察屏(例如图 2 和 3 的观察屏 12)上的相干光束的波前进行近似重建。例如,具有待重建波前的相干光束可以是由期望场景对相干光束进行散射而形成的光束,和/或通过期望场景透射相干光束而形成的光束。在方法 50 中,将在所选光学孔径上重构波前,相干光束在向观察屏传播时将通过所述光学孔径。所选光学孔径是有限平面区域,其形式在不同实施例中可以不同。所选光学孔径可以是由图 2 或 3 的可重新配置反射镜阵列 16 的平均表面形成的平面区域,或者可以是图 2 或 3 中接近可重新配置反射镜阵列 16 的出射光束 44 的横截面(CS)。

[0058] 方法 50 包括:提供逐像素映射,所述逐像素映射描述能够将期望图像投影到观察屏上的实际相干光束在所选光学孔径上的光场(步骤 52)。逐像素映射可以提供覆盖所选光学孔径的像素集上相干光束的电或磁场的相对相位,例如,像素可以与图 2 和 3 中可重新配置反射镜阵列的单个微反射镜 34 相对应。逐像素映射可选地可以提供相同像素集上波前的电或磁场的相对振幅。在这种情况下,每个像素可以与微反射镜 34 的不相交局部组相对应,该不相交局部组能够近似设置该像素上的平均相对相位和相对振幅。

[0059] 逐像素映射是一种列表,其条目与覆盖所选孔径的像素集中的单个像素相对应。在列表中,每个条目给出相应像素处反射光束的电或磁场的平均相对相位,并可选地提供其平均相对振幅。作为第一示例,逐像素映射可以提供相干光束 26 被图 2 和 3 的可重新配置反射镜阵列 16 中每个微反射镜 34 反射的部分的相对相位。作为第二示例,逐像素映射可以提供相干光束 26 被图 2 和 3 的可重新配置反射镜阵列 16 中微反射镜 34 的每个局部

不相交组反射的部分的相对相位和相对振幅。整个逐像素映射可以存储在数字数据存储装置（例如图 2 和 3 的数字数据存储装置 20）中，或者可以根据本身存储在相同数字数据存储装置 20 中的 2D 图像的数据例如由数字数据处理器 18 来评估。

[0060] 方法 50 包括：通过平移可重新配置反射镜阵列中的一些反射镜来对可重新配置反射镜阵列进行配置，使得可重新配置反射镜阵列中的反射镜与参考平面之间的距离具有非均匀空间分布（步骤 54）。所述配置步骤涉及对可重新配置反射镜阵列中的微反射镜进行定位，以如下方式来反射入射相干光束：大致根据步骤 52 中提供的所选孔径上的逐像素映射，产生反射光束。入射相干光束例如可以是由图 2 和 3 的光源 14 产生的光束 26。于是，配置步骤 54 改变例如一些微反射镜 34 同与图 2 和 3 的可重新配置反射镜阵列 16 的表面平行的参考平面 36 之间的距离。

[0061] 方法 50 然后包括：利用相干光束照射在步骤 54 处配置的可重新配置反射镜阵列，使得光束的一部分被阵列反射，以将期望图像投影在观察屏（例如图 2 和 3 的观察屏 12）上（步骤 56）。典型地，照射相干光束可以在可重新配置反射镜阵列的高度和宽度上是空间相关的。由于步骤 54 中微反射镜的定位，照射相干光束的反射部分在所选孔径的每个像素处将大致具有步骤 52 中提供的逐像素映射的相位。对于可重新配置反射镜阵列 16 的示例，对相干光束 26 进行反射来产生出射相干光束 44。然后，在所选光学孔径的每个像素处，出射相干光束 44 的电或磁场的平均相对相位大约为步骤 52 中提供的逐像素映射的相位。在每个像素处，出射相干光束的相位和可能的振幅将近似是能够将期望图像投影在观察屏 12 上的实际相干光束的相位和振幅。在该示例中，所选光学孔径可以是可重新配置反射镜阵列 16 的平均表面，或出射相干光束 44 的横截面 CS，该横截面 CS 靠近可重新配置反射镜阵列 16 但是距该可重新配置反射镜阵列 16 的距离与其中的微反射镜 34 的大小相比要大的多。对于期望图像，可能存在可重新配置反射镜阵列中微反射镜 34 的多种配置能够近似重构出实质上将相同期望图像投影在观察屏 121 上的出射光束 44。

[0062] 在图 2 和 3 的装置 10、10' 的一些实施例中，方法 50 中步骤 56 的执行包括：使可重新配置反射镜阵列 14 的微反射镜 34 以大于 30 赫兹的频率微小振动。该微小振动在观察屏 12 上引起局部相干光强的微小波动，并可以进行控制用来暂时去掉投影图像中干涉引起的光斑。可以通过振动图 2 和 3 的整个基板 35 或在照射步骤 56 的执行期间通过 MEMS 致动器振动单个微反射镜 34，来产生该振动。例如可以使用上述合并的 Vladimir A. Aksyuk、Randy C. Giles、Omar D. Lopez 和 Roland Ryf 的题为“SPECKLE REDUCTION IN LASER-PROJECTOR IMAGES”的美国专利申请中描述的方法和 / 或系统来降低投影图像中的光斑。

[0063] 方法 50 可以包括：响应于指示要在观察屏上投影另一期望图像的控制信号，返回重复步骤 52、54 和 56，以例如在图 2 和 3 的观察屏 12 上产生 2D 图像的时间序列。在一些实施例中，返回可以以至少二十（20）帧每秒的速率以及优选地以三十（30）或更多帧每秒的速率来重建新的 2D 图像。即，帧重复速率可以高到足以为观察者产生真正平滑视频的感知。

[0064] E) 投影多色图像

[0065] 图 2 和 3 的装置 10、10' 的一些实施例可以在观察屏 12 上投影将由观察者 V 感知为多色图像的图像。在图 6 中示出了光源 14 的适合多色实施例 14' 的一个示例。

[0066] 参照图 6，多色光源 14' 例如包括：三个相干彩色光源 22R、22G、22B 和光波分复用

器 62。三个相干彩色光源 22R、22G、22B 中的每一个包括被配置为输出不同颜色（例如，红、绿和蓝）的光的半导体激光器 LR、LG、LB。在一些实施例中（未示出），单色半导体激光器 LR、LG、LB 中的一个或多个例如可以由多个相同颜色的激光器代替，以降低观察屏 12 上的光斑。相干光源 22R、22G、22B 中的每一个还包括能够单独切换相应半导体激光器 LR、LG、LB 的开和关的光开关 OS。光波分复用器 62 使来自三个相干光源 22R、22G、22B 的光改向至扩束光学器件 24。光波分复用器 62 例如包括：如图所示的适当取向的光栅 64，或另一光波长路由器件（未示出）。

[0067] 如图 2 和 3 所示，光源 14 还可以包括上述合并的 Gang Chen、Ronen Rapaport 和 Michael Schabel 的题为“COLOR MIXTURE ILLUMINATION SOURCE AND COLOR CONTROL DATA SYSTEM”的美国专利申请中描述的一个或多个半导体激光器和 / 或多色激光光源。

[0068] 即使多色光源 14' 提供了投影多色图像的功能，每幅图像需要经由可重新配置反射镜阵列 16 来对所产生的光束 26 进行调制的事实也带来了复杂性。具体地，用于成像的方法使用相同的可重新配置反射镜阵列 16 来针对不同颜色的光对光束 26 进行调制。当图像例如是图 7 所示的对象时，保持这种配置可能是复杂的，所述对象的颜色是由相干光源 22R、22G、22B 中不同的光源产生的单个颜色的混合。

[0069] 图 7 示意性示出了利用可重新配置反射镜阵列 16 的单一配置将正方形的图像投影在图 2 或 3 的观察屏 12 上的一种尝试，其中正方形具有图 6 中两个半导体激光器 LR、LG 的颜色混合而成的颜色。由于可重新配置反射镜阵列 16 典型地在出射相干光束 44 中产生一些衍射，则单一配置的可重新配置反射镜阵列 16 将典型地利用来自半导体激光器 LR 的光投影第一图像 I1，并将利用来自另一半导体激光器 LG 的光投影不同的第二图像 I2。即，由于基于不同颜色光产生的衍射量不同，第一和第二图像 I1、I2 在观察屏 12 上将不完全一致。这种不一致问题可以通过根据投影在观察屏 12 上的激光的颜色，将时分颜色复用与可重新配置反射镜阵列 16 的空间配置的使用相组合来予以解决。

[0070] 图 8 示出了用于在观察屏（例如，图 2 或 3 的观察屏 12）上产生多色光投影（即图像）的方法 70。该方法可以使用图 2 或 3 的装置 10、10' 与图 6 的多色光源 22'。多色光投影是单色光源（例如，图 6 的单色光源 22R、22G、22B）颜色的一幅或多幅图像的重叠。

[0071] 方法 70 包括：对形成期望多色光投影的这种图像的重叠中的单色图像进行选择（步骤 72）。

[0072] 方法 70 包括：执行方法 50 的步骤 52、54 和 56，以利用来自相应单色光源的光将所选单色图像投影在观察屏上（74）。步骤 52 的执行包括：提供所选单色光在所选光学孔径上的光场相位的逐像素映射。在一些实施例中，提供逐像素映射还将提供所选单色光在所选光学孔径上的光场的振幅。

[0073] 方法 70 包括：针对给出期望多色投影的重叠中的剩余单色图像，返回（76）以重复步骤 72 和 74，即，执行时分颜色复用（TDCM）。在步骤 72 和 74 的每次重复中，在步骤 74 的子步骤 52 中提供的逐像素映射基于该次重复时要投影的单色图像。具体地，重复典型地应当包括分别为重叠中的不同单色图像提供新的逐像素映射。这种重复典型地还应当包括：通过平移其中的一些反射镜来重新配置可重新配置反射镜阵列，使得反射镜与参考平面的距离具有与新的逐像素映射相对应的新的非均匀空间分布。最后，关于不同单色图像的每次重复典型地应当包括：利用不同颜色的相干光束来照射重新配置后的阵列，将这部分不

同颜色的相干光束投影在平面观察屏上。

[0074] 方法 70 包括以大于人类感知平滑视频所需频率的频率来重复步骤 72、74 和 76。需要对步骤 72、74 和 76 进行重复,以基于单色图像的时分复用来产生感知的多色投影。具体地,典型地应当在比人类感知平滑运动的频率的倒数短的时间内,对多色投影的重叠中的每一个单色图像进行投影。因此,人类观察者将感知到对单色图像进行平均的单个多色图像而非单色图像的序列。

[0075] 为了产生这样的“感知”多色投影,将控制光源 14' 以高至足以使人类观察者 V 感知到恒定多色图像的速率来执行时分颜色复用。具体地,方法 70 中返回或重复频率至少为 20 赫兹,并优选地是 30 赫兹或更大,以向人类观察者给出这种感知。

[0076] 在一些实施例中,可以执行时分颜色复用,使得不同颜色的单色图像在观察屏上投影不同长度的时间。每个颜色投影时间的这种不等权重然后将改变最终重叠中各种单色的感知强度。对单色图像投影了较长的观看时间,应当使观察者感知到该种颜色相比其他方式而言强度更高。

[0077] F) 在全息图像投影仪中定位微反射镜的方式

[0078] 参照图 2 和 3,存在各种方式来固定微反射镜 34 的位置,使得可重新配置反射镜阵列 16 利用所选光学孔径上的期望逐像素映射来根据入射相干光束 26 产生出射相干光束 44。一些实施例可以直接一起固定全部微反射镜 34 的位置,使得可重新配置反射镜阵列 16 所反射的光满足所选光学孔径上的映射。其他实施例可以分别确定由可重新配置反射镜阵列 16 中分离且不相交的局部操作单元所反射的光的相对振幅和相对相位。每个局部操作单元例如包括 2、3、4 或更多个相邻微反射镜 34。在局部操作单元中,对微反射镜 34 与参考平面 36 的平均距离进行调整,使得由该局部操作单元反射的光在相应像素处具有满足所提供的映射的平均相对相位,并且对其中的微反射镜 34 与参考平面 36 的距离之间的差值进行调整,使得由该局部操作单元反射到相同像素的光的平均振幅满足所提供的映射。例如在 Girsh Blumberg 于 2006 年 6 月 6 日提交的美国专利申请 No. 11/448,390 (这里,被称作'390 申请)中描述了设置微反射镜组的配置的后一种方法。在上述方法的每一种中,对可重新配置反射镜阵列 16 进行配置涉及设置每个微反射镜 34 与参考平面 36 的距离。

[0079] G) 评估孔径上波前的逐像素映射

[0080] 在图 5 和 8 的方法 50 和 70 中,可用若干方法来产生逐像素映射,该逐像素映射使得能够对可重新配置反射镜阵列中的微反射镜进行配置,从而对入射相干光束进行调制以在观察屏上投影期望图像。图 2 或 3 的处理器 18 例如可以执行这些方法之一,以确定微反射镜 34 的位置,以便使可重新配置反射镜阵列 16 能够将期望图像投影到观察屏 12 上。

[0081] 在第一和第二方法中,就在可重新配置反射镜阵列前面的光波前 $g(m_1, m_2)$ 是观察屏处图像光波前 $f(n_1, n_2)$ 的离散逆傅立叶变换 (IFT)。这里,2D 向量 (m_1, m_2) 指示可重新配置微反射镜阵列中的微反射镜 (像素),并且 2D 向量 (n_1, n_2) 指示观察屏上的像素。对于这些方法,图像被视为处在可重新配置反射镜阵列的远场区域中。

[0082] 在第一和第二方法中,图 2 和 3 的处理器 18 执行迭代算法,以产生可重新配置反射镜阵列中每个反射镜反射出的入射相干光的相对相位的适合空间逐像素映射。所产生的逐像素映射是入射在可重新配置反射镜阵列上的光波前的纯相位调制。可以通过各种版本的 Gerchberg-Saxton 算法来产生这样的映射。例如在 Optics Letters, Vol. 21,

No. 12(1996年6月15日)842-844页;Optics Letters, Vol. 3, No. 1(1978年7月)27-29页;Applied Optics, Vol. 21, No. 15(1982年8月1日)2758-2769中所公开的文章中的一篇或多篇描述了一些版本的 Gerchberg-Saxton 算法。这三篇文章的全部内容通过引用合并于此。

[0083] 图9示出了用于确定适合的逐像素映射(例如,可重新配置反射镜阵列处的适当 $g(m1, m2)$)的第一迭代方法80。第一迭代方法80是基于观察屏上单色图像光强度的空间分布,即 $f \cdot f^*(n1, n2)$ 。

[0084] 第一迭代方法80包括:基于观察屏上的期望图像,确定观察屏处绝对光振幅的空间分布,即,确定 $|f(n1, n2)|$ (步骤82)。绝对振幅是观察屏的单个像素(即,($n1, n2$))处图像光波前的振幅的绝对值。

[0085] 接着,第一迭代方法80包括:通过将每一个绝对光振幅乘以相位,来为图像形成复光振幅的新空间分布,即 $h(n1, n2)$ (步骤84)。如果像素($n1, n2$)处相乘的相位由 $e^{i\phi(n1, n2)}$ 给出,则复光振幅的新空间分布定义如下:

[0086]

$$h(n1, n2) = e^{i\phi(n1, n2)} \cdot |f(n1, n2)|。$$

[0087] 对于任何图像,可以多种方式来选择相位,这是因为图像的感知形式取决于观察屏处光振幅的幅度,而不取决于观察屏处光振幅的相位。例如,可通过任何伪随机选择处理来选择相位。

[0088] 接着,第一迭代方法80包括:执行迭代处理,以在N次迭代之后产生新离散 IFT 函数 $g_N(m1, m2)$ (步骤86),可以通过利用可重新配置反射镜阵列执行对入射相干光束的纯相位调制来产生该新离散 IFT 函数 $g_N(m1, m2)$ 。例如,图3的装置10'可以产生离散 IFT 函数 $g_N(m1, m2)$,其在可重新配置反射镜阵列中的微反射镜上具有实质上恒定的幅度。新 $g_N(m1, m2)$ 具有在观察屏上给出期望图像的离散 FT $h_{N+1}(n1, n2)$ 。

[0089] 在第k次循环处,迭代处理涉及执行若干子步骤。首先,迭代处理包括:获得复图像光振幅的最后空间分布(即, $h_k(n1, n2)$)的离散 IFT(即, $g_k(m1, m2)$)(子步骤A)。在第一次迭代时,空间分布 $h_1(n1, n2)$ 是在上述步骤84处获得的空间分布 $h(n1, n2)$ 。接着,迭代处理包括:利用纯相位的新空间分布(即, $g_k'(m1, m2)$)来代替离散 IFT $g_k(m1, m2)$ (子步骤B)。分布 $g_k'(m1, m2)$ 如下:

$$[0090] \quad g_k'(m1, m2) = g_k(m1, m2) / |g_k(m1, m2)|。$$

[0091] 接着,迭代处理包括:采用纯相位空间分布 $g_k'(m1, m2)$ 的离散 FT,来获得观察屏上的新空间图像分布 $f_k(n1, n2)$ (子步骤C)。接着,迭代处理包括:确定 $g_k'(m1, m2)$ 对于观察屏上适合图像的投影是否充分收敛(子步骤D)。一些实施例可以响应于预先选择次数的迭代(即,由于子步骤A、B、C、D和F形成的循环的迭代)的执行,来确定发生了充分收敛。例如,对于低质量图像,预先选择次数可以是5次迭代,对中等质量图像可以10次迭代,对于高质量图像可以是100次迭代。当然,预先选择的迭代次数可以针对不同实施例而改变。可选实施例可以包括对误差E进行评估,然后使用误差E的值来确定发生充分收敛的迭代次数。在一个这样的实施例中,误差E是在观察屏像素(即,($n1, n2$))上求得的和,并定义如下:

$$[0092] \quad E = \sum_{\text{图像像素}(n1, n2)} [|f(n1, n2)|^2 - |FT\{g_k/|g_k|\}(n1, n2)|^2]^2。$$

[0093] 在这样的实施例中,当可重新配置反射镜阵列上的相位图的离散 FT 提供十分接近期望图像的图像时,迭代处理充分收敛。在另一实施例中,上述误差 E 的等式可以通过在等式右侧用 g_k 来代替 $g_k/|g_k|$ 来进行修改。由于在足够次数的迭代之后 $g_k(m1, m2)$ 典型地收敛于纯相位的分布,因此这样的修改是可用的。可选地,误差 E 可以是在可重新配置反射镜阵列的像素或微反射镜上求得的和。一种这样的误差 E 如下:

$$[0094] \quad E = \sum_{\text{阵列像素}(m1, m2)} [[g_k(m1, m2)]^2 - [g_k'(m1, m2)]^2]^2。$$

[0095] 在这样的实施例中,当函数 $g_k(m1, m2)$ 由可重新配置反射镜阵列上的纯相位的空间分布充分精确地表示时,收敛是充分的。如果在子步骤 D 处确定迭代处理充分收敛,则迭代处理包括:以对入射在可重新配置反射镜阵列上的光束产生 $g_k'(m1, m2)$ 相位调制的方式,对可重新配置反射镜阵列中的单个微反射镜进行垂直定位(步骤 E)。即,对横向微反射镜 $(m1, m2)$ 进行定位,以从将入射在该微反射镜上的相干光束部分中,产生局部相位为 $g_k'(m1, m2)/|g_k'(m1, m2)|$ 的波前。如果迭代处理尚未充分收敛,则迭代处理包括:对观察屏处的复图像光振幅的下一空间分布(即, $h_{k+1}(n1, n2)$) 进行评估(子步骤 F)。下一空间分布 $h_{k+1}(n1, n2)$ 定义如下:

$$[0096] \quad h_{k+1}(n1, n2) = |f(n1, n2)| [f_k(n1, n2)/|f_k(n1, n2)|]。$$

[0097] 这里, $f_k(n1, n2)$ 是可重新配置反射镜阵列上空间分布 $g_k'(m1, m2)$ 在观察屏处的离散 FT。因此,下一图像光波前 $h_{k+1}(n1, n2)$ 的相位和振幅分别由 $g_k'(m1, m2)$ 的离散 FT 和期望图像定义。在子步骤 F 之后,迭代处理包括:针对第 $(k+1)$ 次迭代重复子步骤 A-D 和 E 或 F。

[0098] 图 10 示出了用于找到可重新配置反射镜阵列 16 处的适合逐像素映射(例如 $g(m1, m2)$), 以便将期望图像投影在观察屏 12 上的第二迭代方法 80'。第二迭代方法 80' 也是基于观察屏上单色图像光强的空间分布,即 $f \cdot f^*(n1, n2)$ 。

[0099] 第二迭代方法 80' 包括重复针对图 9 中的方法 80 所描述的步骤 82、84 和 86,但是在第二迭代方法 80' 中修改了步骤 86 的一些子步骤,即,由于新迭代处理。

[0100] 在第 k 次循环时,新迭代处理包括:根据以下修改,执行针对步骤 86 所述的已描述子步骤 A-F。在子步骤 B,迭代处理包括:用新空间分布 $g_k'(m1, m2)$ 来代替离散 IFT $g_k(m1, m2)$, 新空间分布 $g_k'(m1, m2)$ 定义如下:

[0101] $g_k'(m1, m2) = g_k(m1, m2) + \lambda [g_k(m1, m2)/|g_k(m1, m2)| - g_k(m1, m2)]$ 。因此,新空间分布具有离散 IFT 中值的幅度的记忆。在子步骤 F,新迭代处理包括定义观察屏上复光振幅的下一分布,该下一分布如下: $h_{k+1}(n1, n2) = h_k(n1, n2) + \lambda [|f(n1, n2)| f_k(n1, n2)/f_k(n1, n2) - h_k(n1, n2)]$ 。因此,新迭代处理具有离散 FT 中值的幅度的记忆。在新迭代处理中,实正参数 λ 例如具有小的正值, $\lambda \cong 1.5$ 。 λ 的选择可以影响迭代处理的收敛速度。

[0102] 在第三方法中,经由两次测量,来为能够将期望图像投影在观察屏上的光束获取相对振幅和相对相位的逐像素映射。在第一次测量中,要成像的场景散射或透射相干光束,并在所选孔径上测量散射或透射光的强度。在第二次测量中,要成像的场景再次透射或散射相干光束,然后与已知的相干参考光束相干涉。然后,在所选孔径上测量干涉光束的强度,以获得所选孔径上透射或散射光束的相位的逐像素映射。例如在上述 '390 申请中描述了用于获得所选光学孔径上振幅和相位信息的逐像素映射的这种方法。

[0103] 在麻省理工大学电子工程与计算机科学系的 Mark Lucente 的博士论文“Diffraction-Specific Fringe Computation for Electro-Holography”, 1994年9月; 美国专利 6,211,848; 美国专利 4,834,476; 美国专利 4,986,619; 以及美国专利 5,172,251 中的一个或多个中描述了用于找到光束在所选光学孔径上相对相位和 / 或振幅的逐像素映射以在观察屏上投影期望图像的其他技术。以上所列论文、美国专利和美国专利申请的全部内容通过引用合并于此。

[0104] H) 利用可重新配置反射镜阵列的直接图像投影

[0105] 图 11A-11E 示出了用于在观察屏 12 上投影图像 (即, 被感知为单色或多色的图像) 的其他装置 10A、10B、10C、10D、10E。装置 10A-10E 包括: 2D 可重新配置空间光调制器 16、16'、相干光源 14、数字数据处理器 18、数字数据总线 38 和数字数据存储装置 20。装置 10A-10E 的这些元件中的每一个可以实质上类似于或等同于图 2-3 的装置 10、10' 中相同编号元件的方式来相互布置和 / 或构造, 即, 除了如下区别以外。

[0106] 这里, 可重新配置空间光调制器指 2D 可重新配置反射镜阵列, 例如如图 11A-11D 所示的微反射镜 34 的阵列 16, 或者指 2D 可重新配置液晶阵列, 例如如图 11E 所示的液晶单元 34' 的阵列 16'。可重新配置空间光调制器能够以空间非均匀和可重新配置方式对入射相干光波前进行相位和 / 或振幅调制。

[0107] 在图 11A-11D 中, 2D 可重新配置反射镜阵列 16 可以具有针对图 2-3 的装置 10、10' 所描述的任何结构。即, 装置 10A-10D 的可重新配置反射镜阵列 16 至少具有在 MEMS 致动器的控制下执行活塞式运动 (例如垂直于假想平面 36 的运动) 的一些微反射镜 16。MEMS 致动器位于平面基板 35 中 / 上。

[0108] 在图 11E 中, 2D 可重新配置液晶阵列 16' 包括: 实质上相同的液晶单元 34' 的规则 2D 阵列 89 和位于规则 2D 阵列 89 每一侧上的线偏振器 90、90'。每个液晶单元 34' 具有双折射液晶, 并在其一个表面或两个表面上具有相邻电极。电极被配置为施加对相同液晶单元 34' 的液晶的光轴进行旋转的电压。对电极进行控制, 使得可以独立地对不同的液晶单元 34' 进行寻址。即, 在数字数据处理器 18 的控制下, 可以独立旋转不同的液晶单元 34' 的光轴。线偏振器 90、90' 可以被配置为使它们的偏振方向沿着多个相对取向, 例如平行或垂直。液晶单元 34' 和偏振器 90、90' 夹在一起可以在入射相干光波前上产生相位调制或相位和振幅调制的组合。因此, 可重新配置液晶阵列 16' 可以产生入射光波前的可控空间非均匀调制。装置 10E 对透射通过 2D 可重新配置液晶阵列 16' 的入射照射光束 26 进行调制。其他实施例 (未示出) 可以包括对从可重新配置液晶阵列反射的入射光束进行调制的 2D 可重新配置液晶阵列。确实, 在其他实施例中, 除了由可重新配置反射式液晶阵列代替可重新配置反射镜阵列 16 以外, 图像投影装置可以类似于图 11A-11D 的装置 10A-10D 进行设置。

[0109] 与图 2-3 的装置 10、10' 不同, 图 11A-11E 的装置 10A-10E 使用可重新配置空间光调制器 16、16' 的像素与期望图像的像素之间的直接一一对应关系。根据该一一对应关系, 可以基于期望图像的单个相应像素的期望光强, 来配置图 10A-10E 中的可重新配置空间光调制器 16、16' 的每个像素。因此, 可以将可重新配置空间光调制器 16、16' 的区域直接映射到要投影到观察屏 12 上的图像的相应区域。为此, 装置 10A-10E 的许多实施例的数字数据处理器 18 将不会在整个可重新配置反射镜阵列 16 上一起执行复杂的迭代处理, 以确定

如何定位单个微反射镜 34 或配置单个液晶单元 34', 使得可重新配置空间光调制器 16、16' 投影期望图像。例如, 数字数据处理器 18 不会对期望图像的逆傅立叶变换进行评估, 以便装置 10A-10E 在观察屏 12 上投影期望图像。为此, 同图 2-3 的装置 10、10' 的一些实施例相比, 装置 10A-10E 的一些实施例的数字数据处理器 18 可以更快速地确定微反射镜 16 的位置或液晶单元 16' 的配置。

[0110] 装置 10A-10E 包括在图 2-3 的装置 10、10' 的实施例中未呈现的附加功能元件。附加功能元件包括: 第一聚焦光学透镜系统 92、第二聚焦光学系统 94、和光透射滤波器 96。

[0111] 第一聚焦透镜系统 92 位于部分光路上, 如装置 10A-10B 和 10E 中, 所述部分光路在可重新配置空间光调制器 16、16' 之后, 或如装置 10C 中, 在可重新配置空间光调制器 16、16' 之前, 或者如装置 10D 中, 既在可重新配置空间光调制器 16、16' 之前又在可重新配置空间光调制器 16、16' 之后。在各种应用中, 第一聚焦透镜系统 92 可以位于以上所列位置中的不同位置处, 以满足空间/几何约束, 例如, 将图像投影装置 10A-10E 之一集成到小的蜂窝电话中的约束。

[0112] 透射滤波器 96 位于平面 98 处或接近平面 98, 其中, 第一聚焦滤波器 92 将入射到可重新配置空间光调制器 16、16' 上的照射光束 26 成像到该平面 98 中。例如, 如图 11A-11B 和 11E 所示, 如果照射光束 26 实质上是准直的, 则平面 98 在第一聚焦透镜系统 92 的焦平面上, 或在第一聚焦透镜系统 92 的焦平面附近。相反, 例如, 如图 11C 和 11D 所示, 如果照射光束 26 汇聚, 则相比焦距而言平面 98 更靠近第一聚焦透镜系统 92。在平面 98 中, 第一聚焦透镜系统 92 例如形成从可重新配置空间光调制器 16、16' 出射的相位调制波前的傅立叶变换。

[0113] 在平面 98 处, 如图 12A-12B 所示, 第一聚焦透镜系统 92 使出射光束 44 形成光图案。光图案具有组成不同衍射级的亮点 110、112、114, 例如, 这是由于可重新配置空间光调制器 16、16' 中微反射镜 34 或液晶单元 34' 的横向分布的近似 2D 周期性造成的。透射滤波器 96 实质上仅将来自亮点 110、112、114 之一的光或来自亮点 110、112、114 的图案中一个衍射级的光透射到图像投影装置 10A-10E 的后续部分。透射滤波器 96 实质上阻挡了来自平面 98 上或平面 98 附近的光图案中其他亮点 110、112、114 的光。来自单个未被阻挡的亮点 110、112、114 或未被阻挡的衍射级的光透过其余透镜系统 94、100, 以在观察屏 12 上形成图像。

[0114] 透射滤波器 96 提供了随着平面 98 上的横向位置而变化的衰减。该衰减可随着平面 98 上的位置 R 而平滑变化。例如, 该衰减可以按 $A \cdot \exp[-([R-R_0]/w)^2/2]$ 而取决于位置 R , 其中, R_0 和 $2w$ 分别是透射滤波器 96 的中心和宽度。在 $|R-R_0| = 2w$ 的位置处, 透射滤波器 96 将入射光强衰减为 e^{-2} , 大于在其中心对入射光强的衰减。

[0115] 图 12A 和 12B 示意了上述示例透射滤波器 96 的 $|R-R_0| = 2w$ 边界在平面 98 中的可能位置。这些边界由图 12A-12B 中的虚线圆圈指示。在图 12A 的示例中, 透射滤波器 96 的中心处于亮点 110 (即, 第零衍射级亮点) 的中心。在该实施例中, 透射滤波器 96 实质上阻挡来自其他衍射级的其他亮点 112、114 的光。在图 12B 的示例中, 透射滤波器 96 的中心处于第一衍射级的一个亮点 112 的中心。在该实施例中, 透射滤波器 96 实质上阻挡来自其他衍射级以及来自第一衍射级的其他亮点 112 的光。透射滤波器 96 还能够被配置为实质上透射第一衍射级的所有亮点 112。

[0116] 第二聚焦透镜系统 94 位于透射滤波器 96 之后的部分光路上。具体地,透射滤波器 96 可以如图 11A-11B 和 11E 所示,位于第二聚焦透镜系统 94 的焦平面中,或者如图 11C-11D 所示,同第二聚焦系统 94 的距离与焦距 f' 相比可以近得多。第二聚焦透镜系统 94 在随后的平面(即观察屏 12)处产生由透射滤波器 96 透射的光波前的傅立叶变换或逆傅立叶变换。

[0117] 通过将由聚焦透镜系统 92、94 执行的傅立叶变换与由透射滤波器 96 执行的空间滤波进行顺序交织,可重新配置空间光调制器 16、16' 的各像素到观察屏的各像素的直接成像看起来实质上是可行的。组合的成像处理还使可重新配置空间光调制器 16、16' 处的相位调制波前能够被转换为观察屏 12 上的可视波前。

[0118] 装置 10A-10E 的一些实施例可以包括透镜系统 100,例如如图 11A-11B 和 11E 所示。透镜系统 100 对投影到观察屏 12 的漫反射表面上的图像的横向尺寸进行放大。

[0119] 装置 10A-10E 的一些实施例投影被感知为多色的图像。在这样的实施例中,相干光源 14 可以是图 6 的时间交织多色激光光源 14'。在这样的实施例中,可以以颜色交织速率来配置可重新配置空间光调制器 16、16',以投影针对每个交织颜色的不同图像。

[0120] 装置 10A-10E 的微反射镜 34 和液晶单元 34' 可以单独进行操作,或可以以局部操作组 (LOG) 的形式进行操作。在后一种情况下,两个、三个或更多个相邻微反射镜 34 或液晶单元 34' 中的适当不相交集形成每一个局部操作组。每个局部操作组充当可重新配置空间光调制器 16、16' 的单个像素。在一些这样的实施例中,每个局部操作组的微反射镜 34 或液晶单元 34' 的适当子集是不能移动的,且无需相应的 MEMS 致动器或电压控制器。

[0121] 图 11A 的装置 10A 还可以包括玻璃楔 102,该玻璃楔 102 被配置为增加可重新配置反射镜阵列 16 上照射光束 26 的入射角。在一些多色实施例中,相干光源 14 可以将不同颜色的照射光束 26 以略微不同的入射角引导到玻璃楔 102 和 / 或可重新配置反射镜阵列 16 上,使得将不同颜色的图像投影到观察屏 12 的相同横向部分上。具体地,当透射滤波器 96 有选择地透射非零衍射级时,典型地需要这种颜色相关入射角改变。图 2 的装置 10 也可以包括与图 11A 的玻璃楔 102 类似和类似配置的玻璃楔(未示出)。

[0122] 在装置 10A-10E 的各个实施例中,数字数据处理器 18、数据总线 38 和数字数据存储单元 20 控制位于平面基板 35 中或上的 MEMS 致动器,或者控制液晶单元 34' 上的电极。MEMS 致动器控制并调整一些或所有微反射镜 34 的位置,如针对图 2-3 的装置 10、10' 所述。然而,为了投影相同期望图像,装置 10A-10D 的数字数据处理器 18、数据总线 38 和数字数据存储单元 20 可以建立与针对图 2-3 的装置 10、10' 而建立的不同的微反射镜 34 的空间配置。

[0123] 图 13 示意了例如利用图 11A-11E 所示的装置 10A-10E 在观察屏上直接对相位调制波前进行成像的一种方法 120。

[0124] 方法 120 包括:对入射相干照射光束的波前进行相位或振幅调制,以产生具有空间相位调制波前的出射光束,例如,出射光束 44(步骤 122)。调制步骤 122 可以包括:有效地将入射照射光束 26 的波前与空间相关反射因子 $A \cdot \exp[i\Phi(m_1, m_2)]$ 或空间相关透射因子 $A(m_1, m_2) \cdot \exp[i\Phi(m_1, m_2)]$ 相乘,来产生出射光束 44。这里, A 和 $A(m_1, m_2)$ 是振幅,以及 $\Phi(m_1, m_2)$ 是相角。同样,整数分量向量 (m_1, m_2) 指示沿着波前的像素空间位置。向量 (m_1, m_2) 的第一和第二分量与单个微反射镜 34 或液晶单元 34' 或者相邻微反射镜 34 或液晶单元 34' 的局部操作组的行和列位置相对应。可以通过空间光调制器(如图 11A-11D

的可重新配置反射镜阵列 16 或图 11E 的可重新配置液晶阵列 16') 来进行这样的调制。对于 $(m1, m2)$ 微反射镜 34 或液晶单元 34', 可以基于观察屏 12 处相应位置的图像像素 $(m1, m2)$ 的期望光强来评估相应的相位 $\Phi(m1, m2)$ 和 / 或振幅 A 或 $A(m1, m2)$ 。

[0125] 方法 120 包括:对光束进行聚焦,使得出射光束可在远平面(例如,远离空间光调制器的平面)上形成衍射光图案(步骤 124),其中光图案近似为在调制步骤 122 中产生的调制波前的傅立叶变换。远平面例如可以是如图 11A-11E 所示引起聚焦的透镜系统的焦平面。可以对相干照射光束执行聚焦步骤 124,以产生入射在空间光调制器(例如,图 11C-11D 的装置 10C-10D 中的可重新配置反射镜阵列 16)上的汇聚光束 26。通过第一聚焦透镜系统 92 的聚焦使出射光束 44 在图 11C-11D 的远平面 98 中产生衍射光图案。可选地,可以对从空间光调制器(例如,图 11A-11B 的可重新配置反射镜阵列 16 和图 11E 的可重新配置液晶阵列 16')出射的光束 44 执行聚焦步骤 124。聚焦步骤 124 的后一种实施例也使出射光束 44 在远平面 98 上产生这样的衍射光图案。

[0126] 方法 120 包括:对来自衍射光图案的光进行空间滤波,使得其中仅一个亮点将光透射至光学图像投影系统的后续部分(步骤 126)。具体地,由于可重新配置空间光调制器 16、16' 中微反射镜 34 或液晶单元 34' 的布置的近似 2D 周期性,未滤波的光图案具有不同的亮点。例如,空间滤波可以包括:利用图 11A-11E 的透射滤波器 96 进行滤波,以阻挡平面 98 上光图案中除了这种单个衍射级之外的所有衍射级对要投影到观察屏 12 上的图像有所贡献。具体地,空间滤波可被配置为透射衍射光图案中零级或较高级的亮点。如果空间滤波透射较高级的光,则也可以透射来自所述较高级中一个或不止一个亮点的光。确实,透射来自相同级的不止一个亮点的光可以增加在观察屏 12 上投影的图像的亮度。

[0127] 方法 120 包括:通过另一聚焦透镜系统发送空间滤波后的光(即,来自衍射光图案的未阻挡的亮点),以将单色图像投影到观察屏上(步骤 128)。该图像典型地是通过空间滤波步骤 126 透射的光图案的傅立叶变换或逆傅立叶变换。透射步骤 128 包括使空间滤波后的光束穿过图 11A-11E 的装置 10A-10E 中的聚焦透镜系统 94、100。

[0128] 方法 120 的一些实施例包括:针对不同颜色(例如,红、绿和蓝)的相干照射光束,重复步骤 122、124、126 和 128。确实,对于步骤 122、124、126 和 128 的连续执行,可以以轮转(round robin)的方式来旋转光束的颜色,以产生颜色交织。可以以足够高的频率来执行这样的颜色交织,以便感知到在观察屏(例如图 11A-11E 的观察屏 12)上投影了多色图像。

[0129] 方法 120 的各个实施例可以以不同方式来实现调制步骤 122。在图 14A 和图 14B 中示出了调制步骤 122 的两个示例实施例。在每个这样的实施例中,透射滤波器 96 可被配置为如图 12A 中所示实质上仅透射平面 98 上的光图案的第零衍射级。

[0130] 以下,如果 $\text{sum}(m1+m2)$ 为偶数,则可重新配置反射镜阵列 16 的行 $m1$ 和列 $m2$ 处的微反射镜 34(液晶单元 34')被称作偶数微反射镜(偶数液晶单元),而如果 $\text{sum}(m1+m2)$ 为奇数,则可重新配置反射镜阵列 16 的行 $m1$ 和列 $m2$ 处的微反射镜 34(液晶单元 34')被称作奇数微反射镜(奇数数液晶单元)。在图 14A 中偶数和奇数微反射镜 34(液晶单元)分别被表示为白色正方形和阴影正方形。

[0131] 图 14A 示出了一种实施例,其中,调制步骤 122 包括:基于要投影到观察屏 12 上的图像的相应像素的期望亮度,来分别定位每个微反射镜 34 或液晶单元 34'。在一个这样的

实施例中,如果要投影的图像在观察屏 12 上具有均匀的非零亮度,则在调制步骤 122 期间,可重新配置反射镜阵列 16 的微反射镜 34 将沿着单个平面对准。在该实施例中,如果要投影的图像在观察屏 12 上具有均匀的零亮度,则可重新配置反射镜阵列 16 的微反射镜 34 最大限度地远离所述相同单个平面。在后一种情况下,微反射镜 34 相对于所述单个平面的分布将形成如图 14A 所示的棋盘形图案。在棋盘形图案中,奇数微反射镜 34 位于单个平面的一侧,而偶数微反射镜位于相同单个平面的另一侧。在要投影的图像上亮度逐像素地变化的其他情况下,调制步骤 122 将包括:根据要投影的图像的相应像素的亮度,来将每个微反射镜 34 定位在与相同单个平面相聚一定距离处。具体地,如果图像像素处的期望光强 I 是 I ,则对可重新配置反射镜阵列 16 的相应微反射镜 34 进行定位,以在从可重新配置反射镜阵列 16 的该部分出射的波前上产生相对相位 Φ 。这里 Φ 定义如下:

[0132] $\Phi = \pm \arccos([I/I_{\max}]^{1/2})$ 。

[0133] 在上述等式中, \pm 符号指示相同平面的一侧,并且 I_{\max} 是要投影的图像的任何像素的最大亮度。对于偶数微反射镜 34,符号为正,而对于奇数微反射镜 34,符号为负,这是由于调制步骤 122 将这样的偶数、奇数微反射镜 34 定位在单个平面的相对侧上,其中,针对均匀的非零亮度,这样的偶数、奇数微反射镜 34 定位在所述单个平面上。

[0134] 图 14B 示出了一种实施例,其中,调制步骤 122 包括:对微反射镜 34 或液晶单元 34' 的不相交相邻对,即,局部操作组 (LOG),分别进行定位。在图 14B 中,局部操作组 LOG 之间的边界由双线指示,这样实施例的微反射镜 34 之间的边界由单线指示。在每一个这种局部操作组 LOG 中,一个微反射镜 34 由白色正方形指示,另一个微反射镜 34 由阴影正方形指示。由白色正方形和阴影正方形指示的微反射镜 34 在调制步骤 122 期间不同地进行移动。

[0135] 在一些这样的实施例中,由阴影正方形指示的微反射镜 34 是不能移动的,即,不由 MEMS 致动,而由白色正方形指示的微反射镜 34 是可由 MEMS 致动器移动的。在调制步骤 122 期间,基于要投影图像的相应像素的亮度,对与白色正方形相对应的每个微反射镜 34 通过其 MEMS 致动器来进行定位。具体地,对每一个这样的微反射镜 34 进行定位,以在入射其上的波前上引起相对相位改变 Φ ,其中 $\Phi = 2 \cdot \arccos([I/I_{\max}]^{1/2})$ 。即,与可重新配置微反射镜 16 的每个像素具有单个微反射镜 34 的实施例相比,局部操作组的移动微反射镜 34 移动达到两倍以产生相同的像素亮度。

[0136] 在其他这样的实施例中,操作组的两个微反射镜 34 均可以是 MEMS 致动且可移动的。于是,在每个操作组中,能够对两个微反射镜 34 进行定位,以例如在两个微反射镜 34 之间引起 $2 \cdot \arccos([I/I_{\max}]^{1/2})$ 的相对相位变化 Φ 。在一些这样的实施例中,还可以根据经验调整局部操作组的微反射镜 34 的中心位置,以降低要投影的图像中与和该局部操作组相对应的像素相邻的像素中衍射引起的光混杂。例如,这样的调整可以包括:沿着垂直和/或水平方向重新定位局部操作组,以尽可能地形成棋盘形和/或交替图案。

[0137] 再次参照图 11A-11D,装置 10A-10D 的一些实施例包括透射滤波器 96,该透射滤波器 96 被配置为透射平面 98 中衍射光图案的所选非零级中的光。在这样的实施例中,例如,可以使可重新配置反射镜阵列 16 的微反射镜 34 闪耀 (blaze),以增加照射光被引导进入其光被透射滤波器 96 选择性透射的亮点中的比例。这样的闪耀 (blazing) 可以包括以关于入射光束 26 的非法向入射角来倾斜所述微反射镜 34 的反射表面,和/或可以包括刻

蚀或移动反射镜组,使得在所述微反射镜或操作组 34 的反射表面上创建阶梯,来模拟闪耀(blazing)。

[0138] 在图 11E 的装置 10E 的各个实施例中,其中的单个液晶单元 34' 或局部操作组还可以被配置为:在入射光波前上产生上述相对相位。具体地,根据相同公式,例如, $\Phi = \arccos([I/I_{\max}]^{1/2})$, 相对相位 Φ 可以取决于期望图像的相应像素处的光强。

[0139] 根据本公开、附图和权利要求,本领域技术人员将会想到本发明的其他实施例。

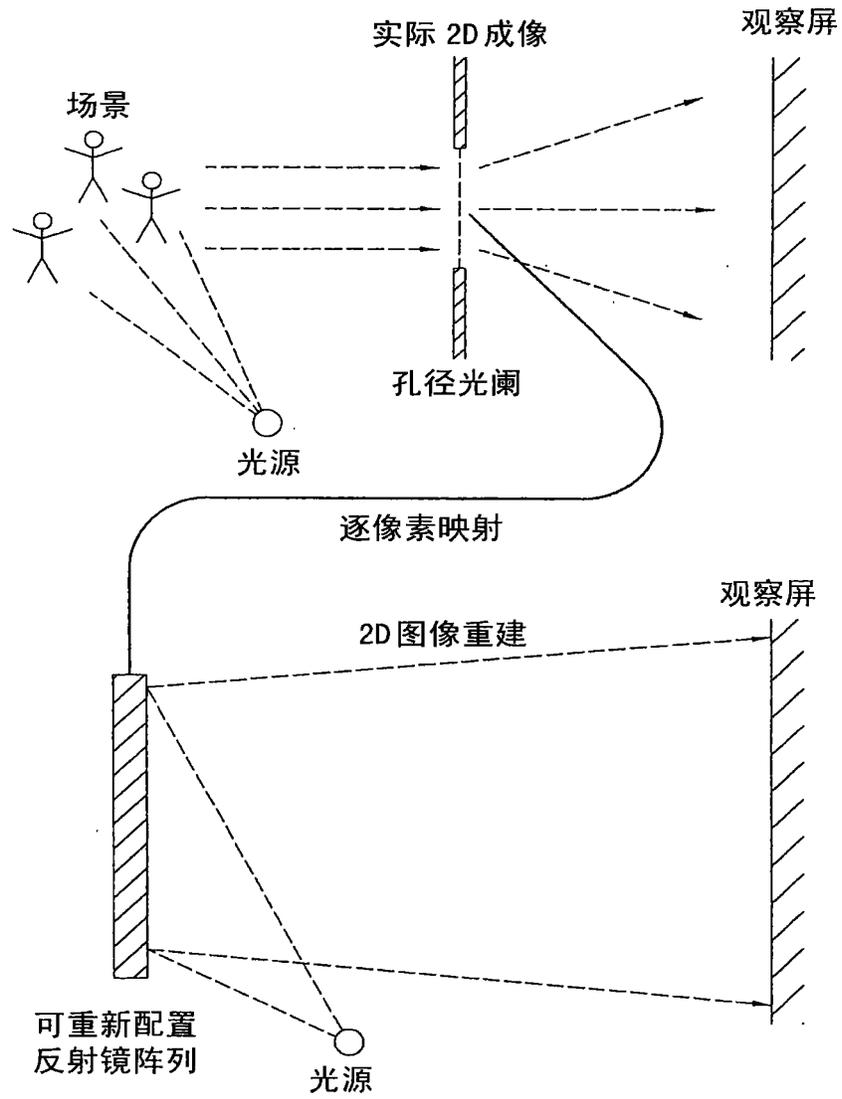


图 1

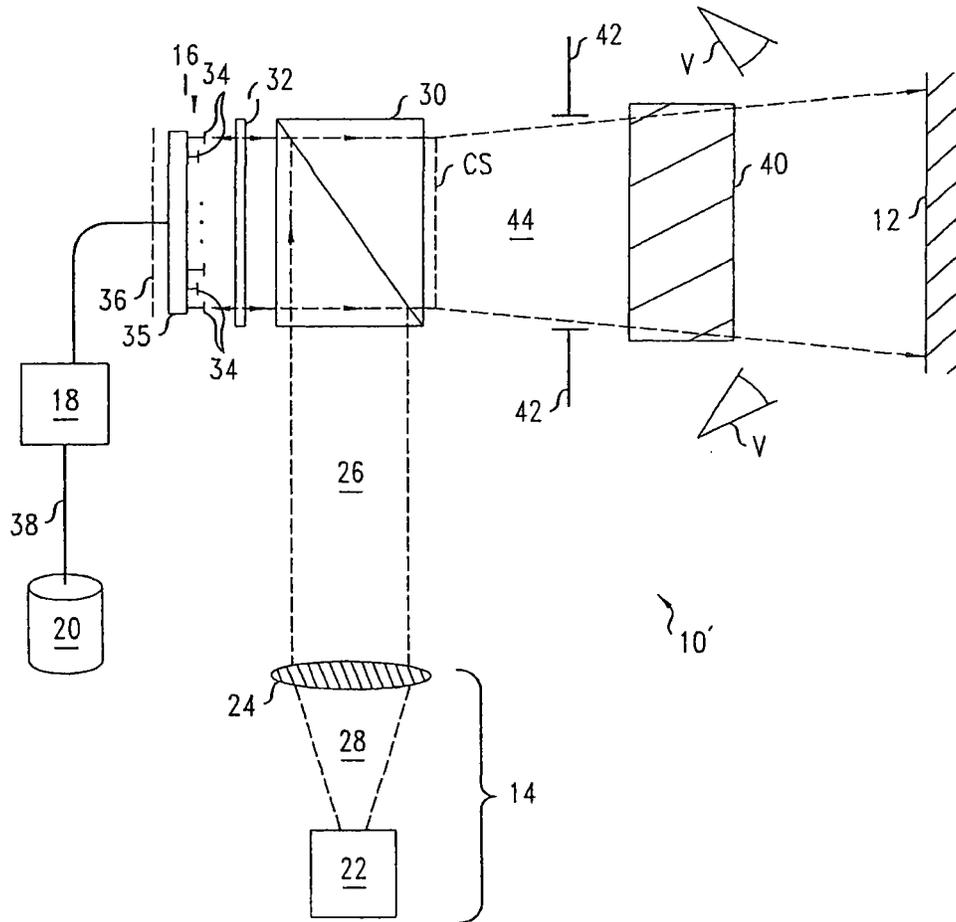


图 3

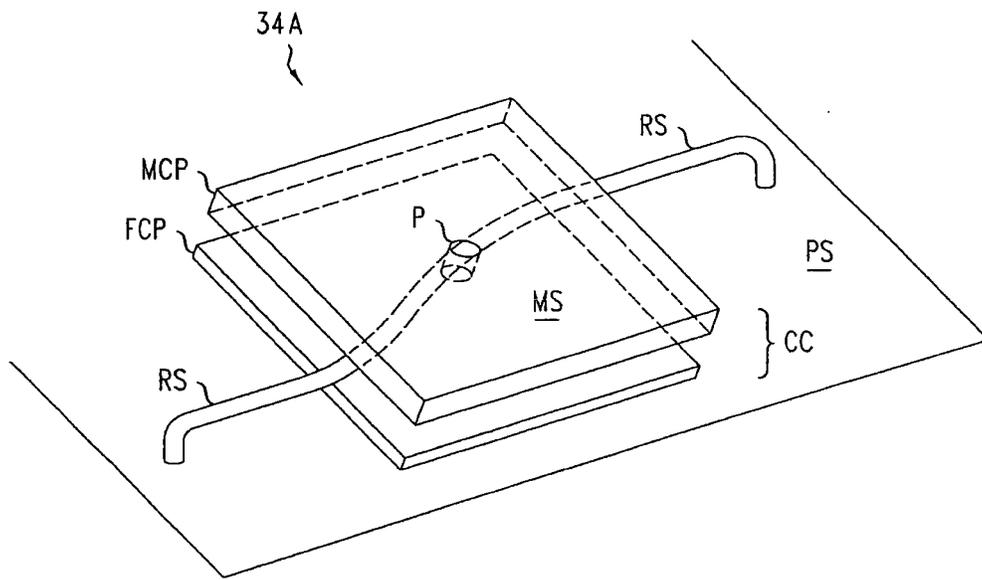


图 4A

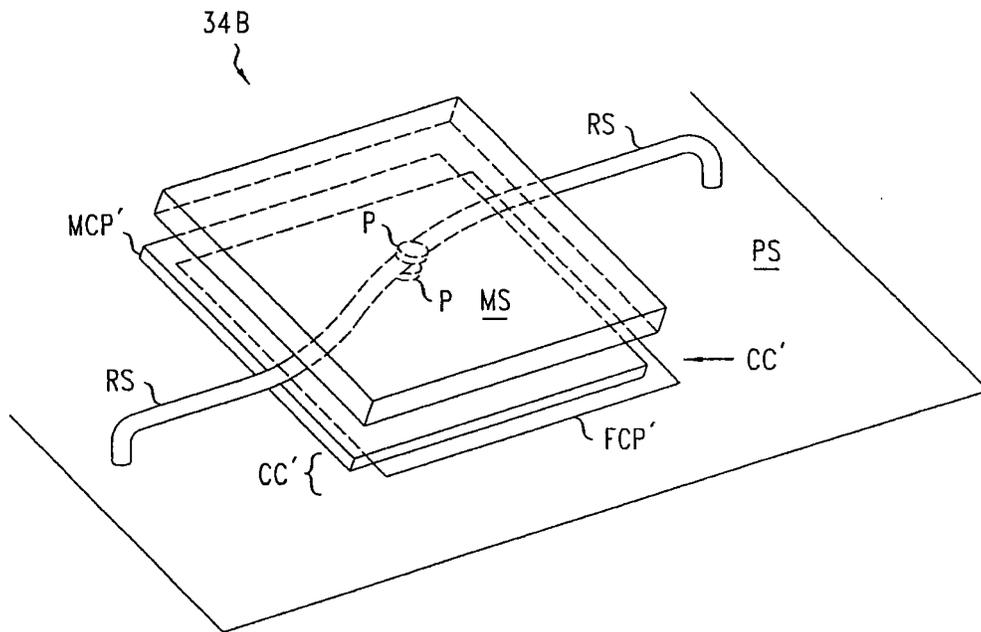


图 4B

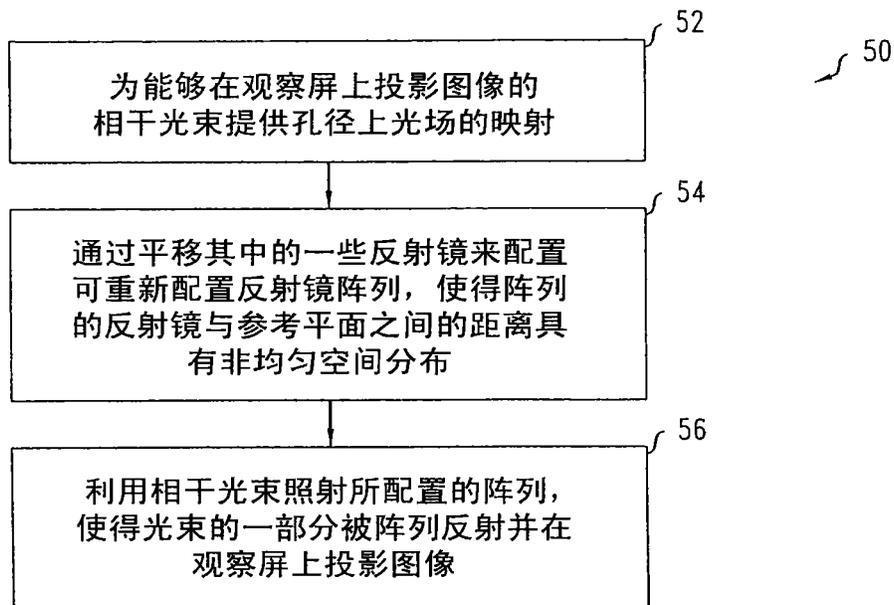


图 5

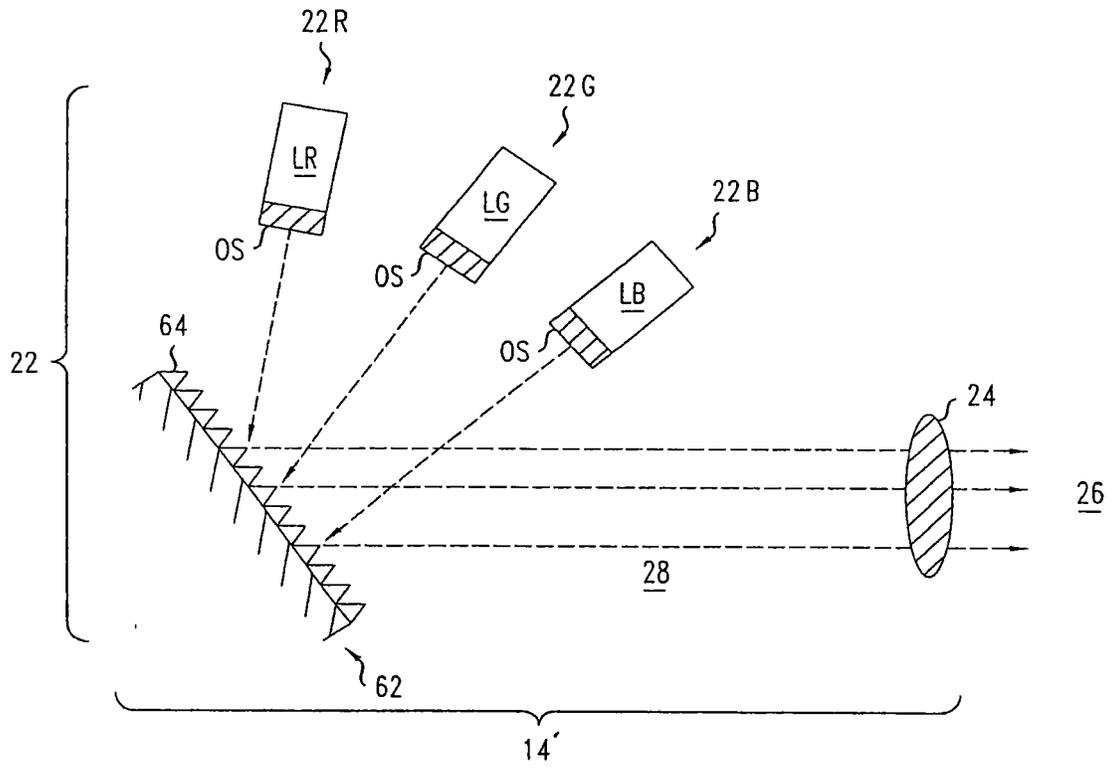


图 6

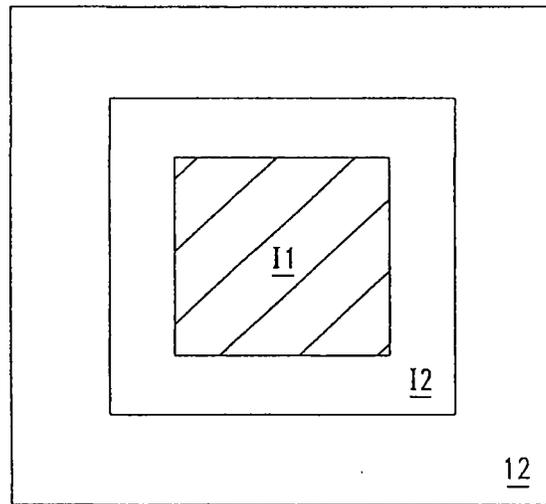


图 7

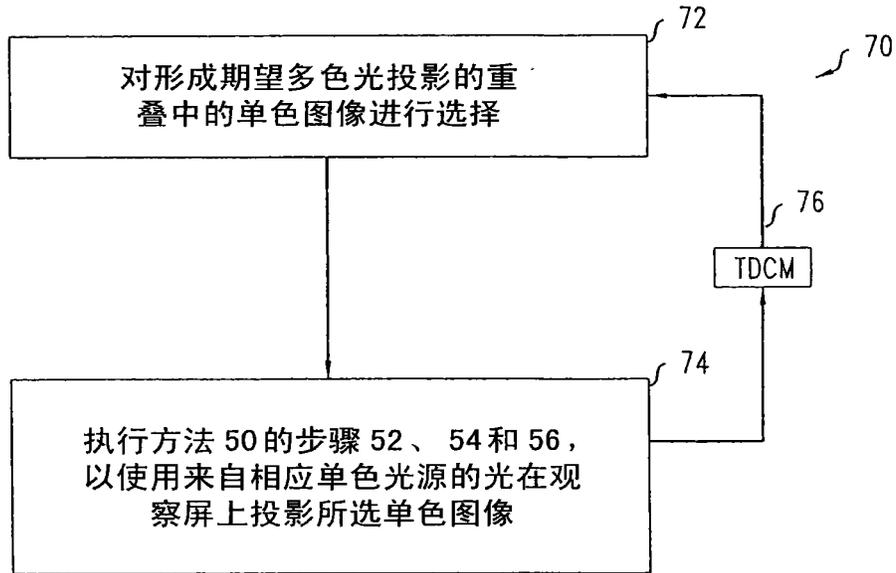


图 8

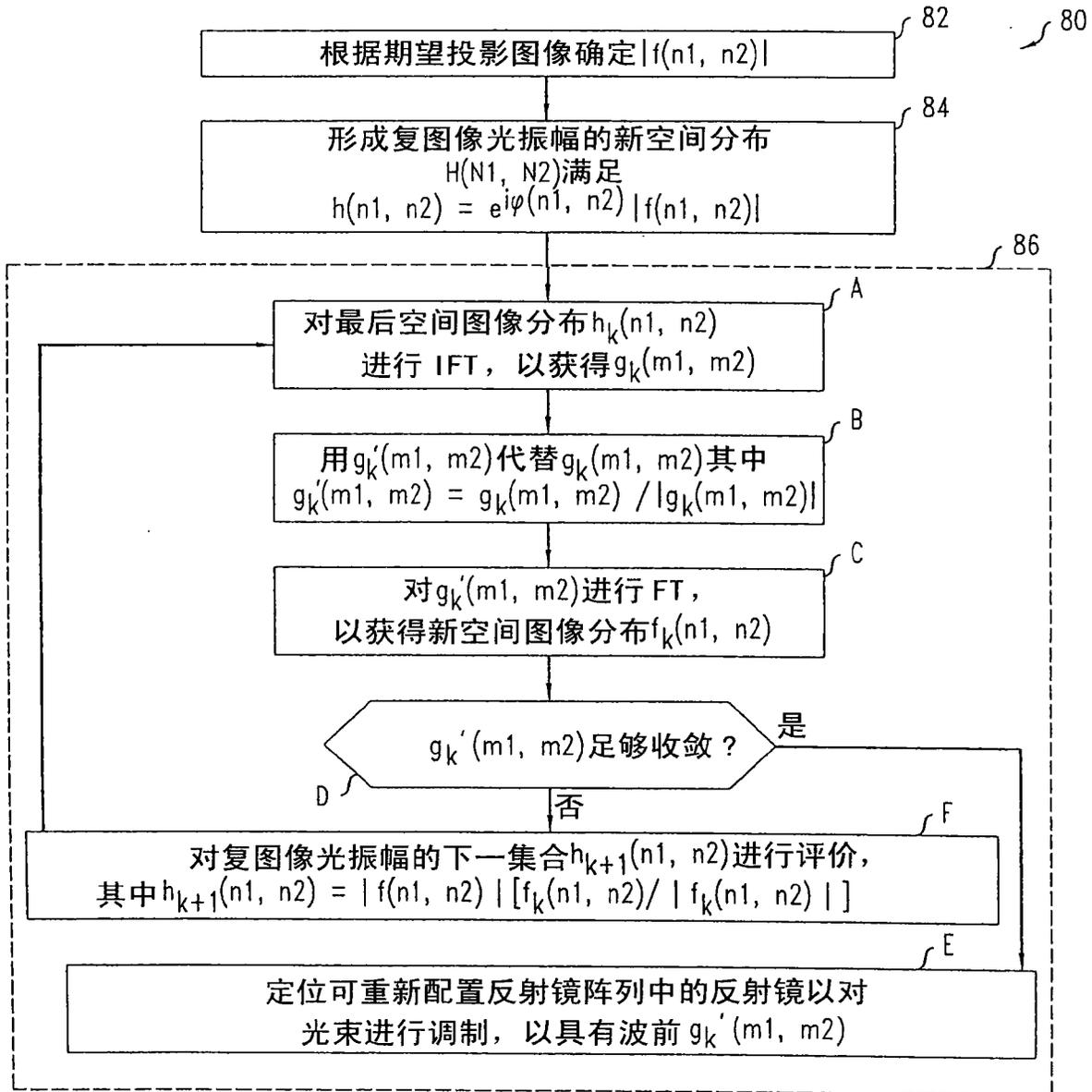


图 9

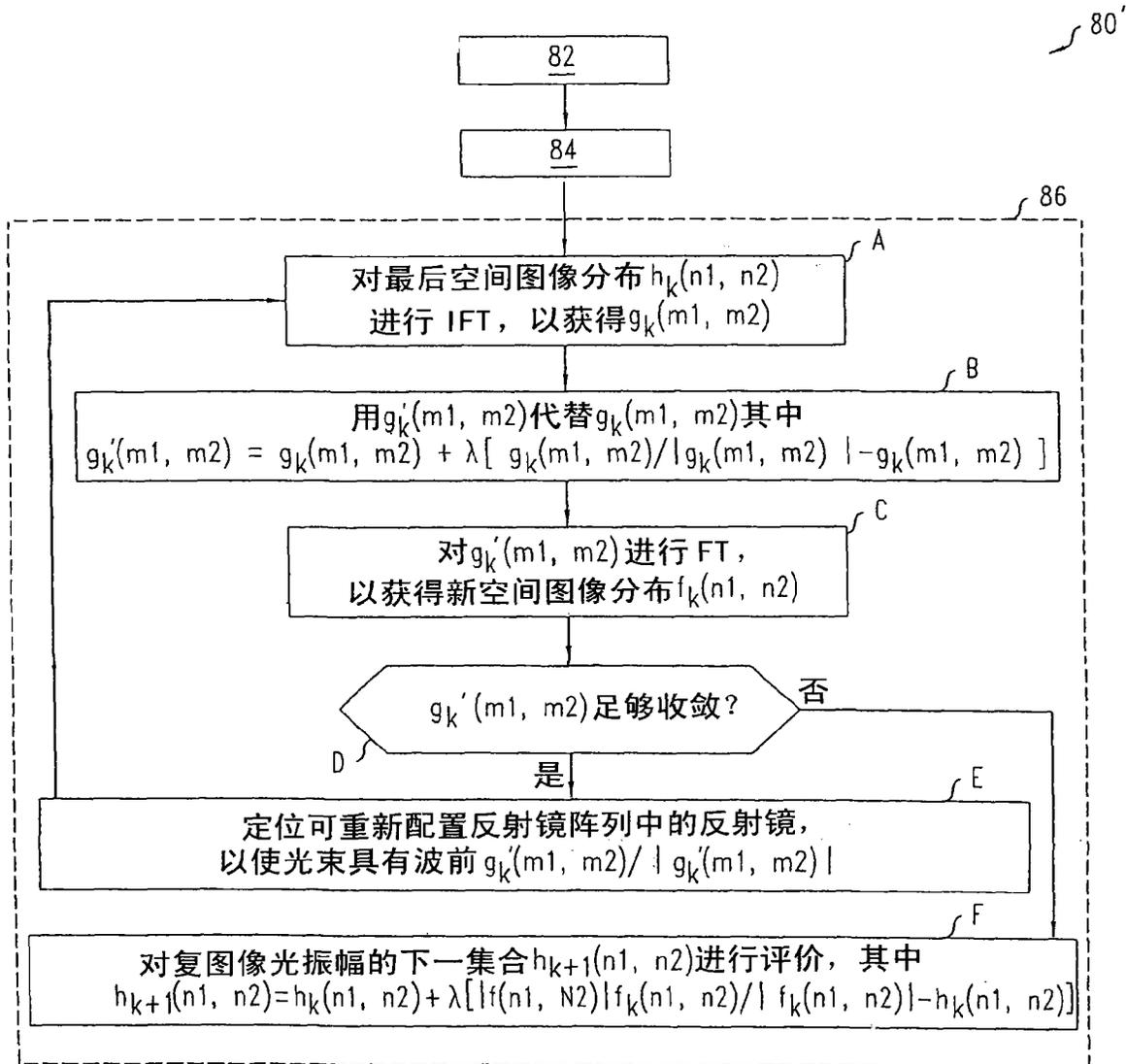


图 10

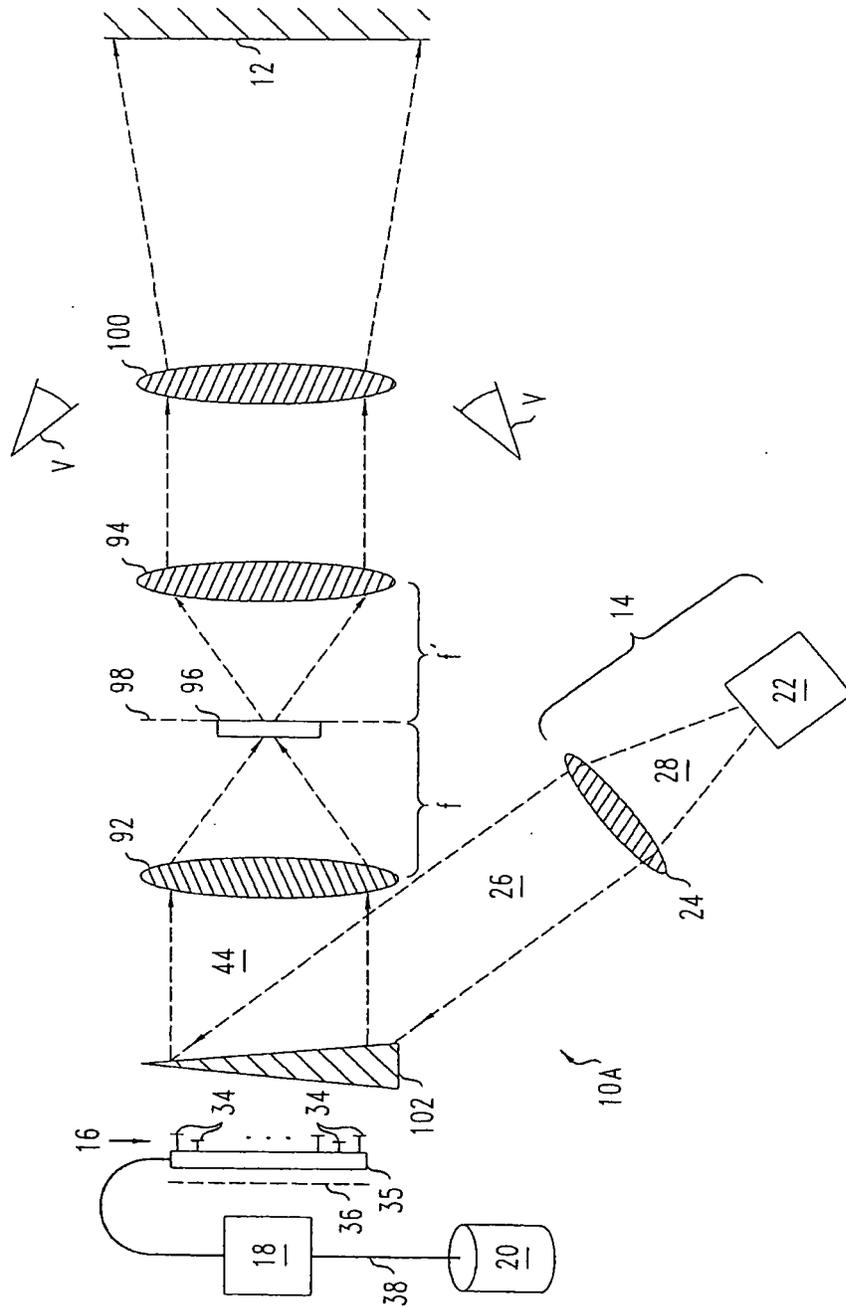


图 11A

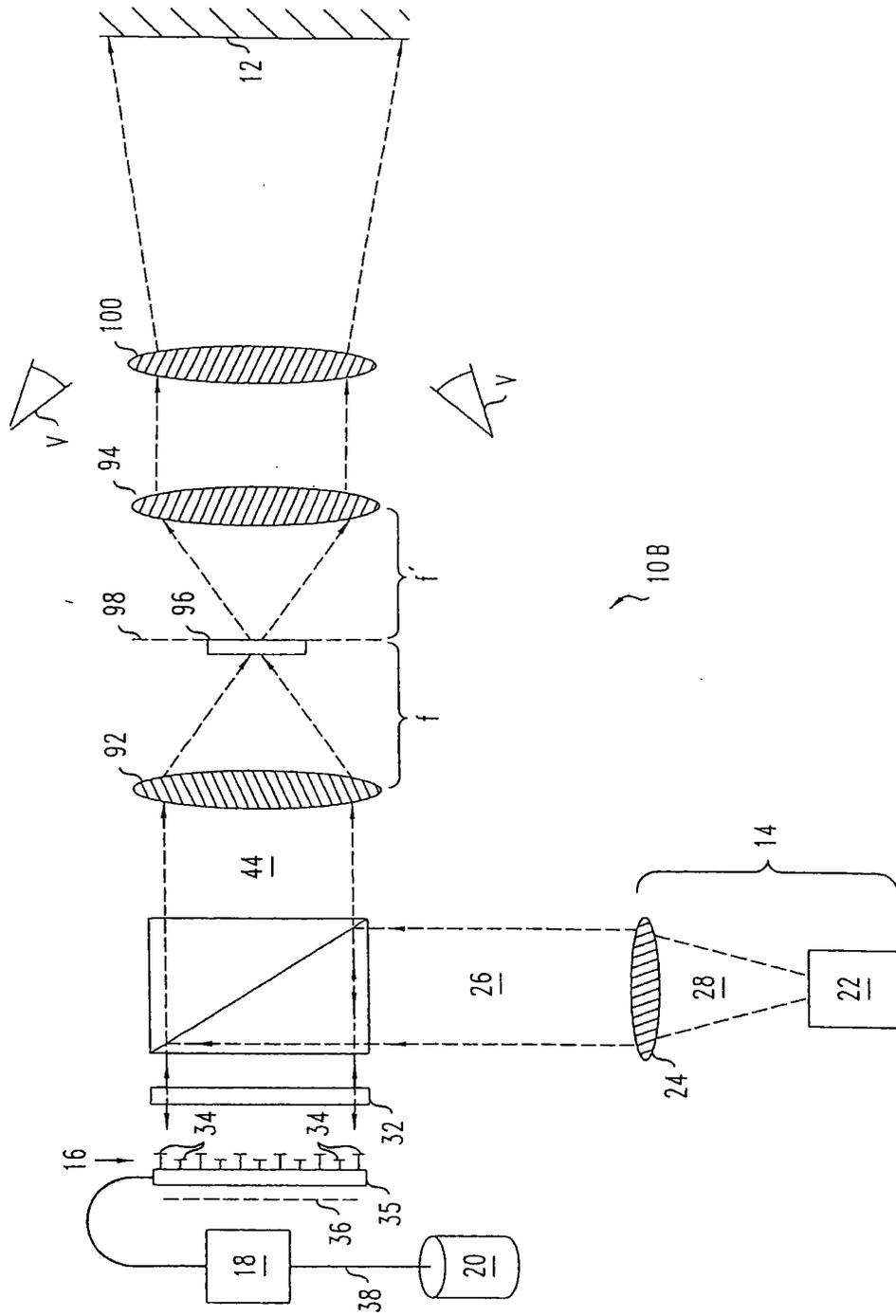


图 11B

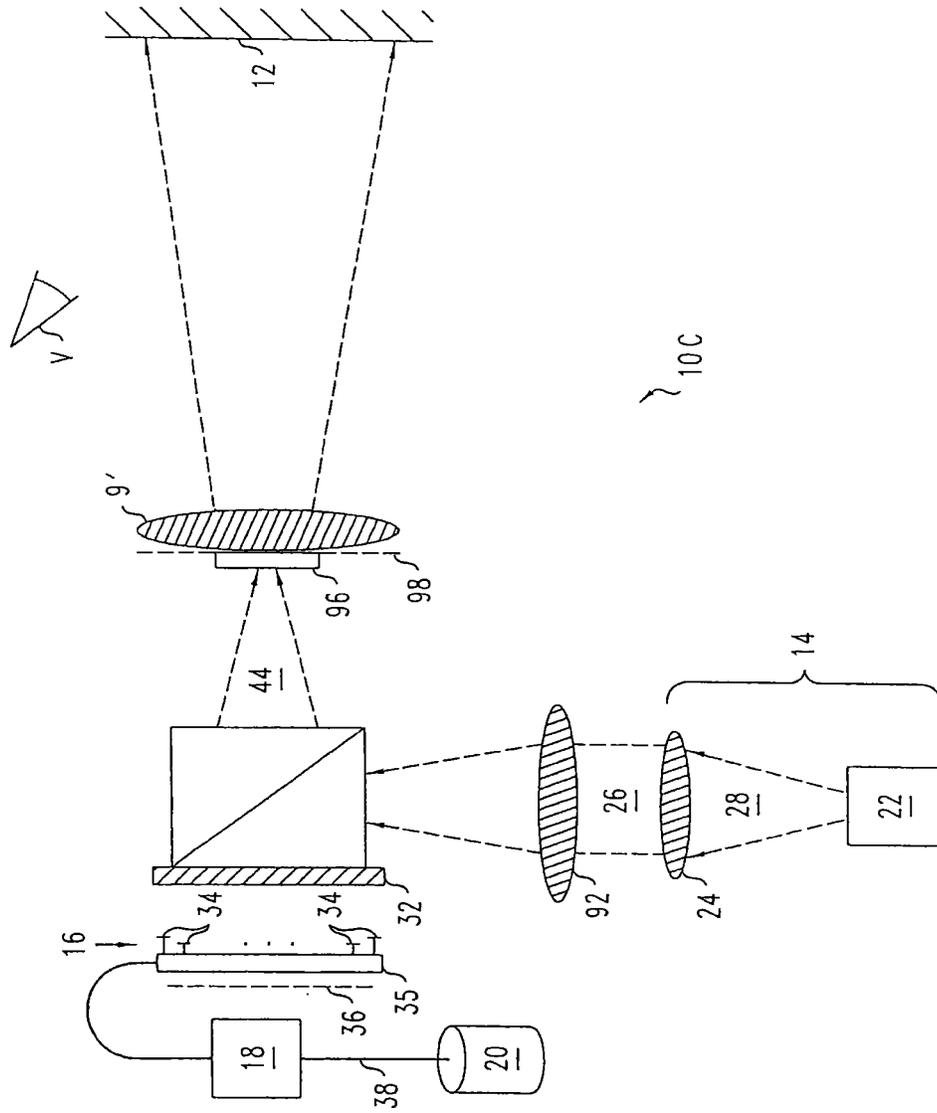


图 11C

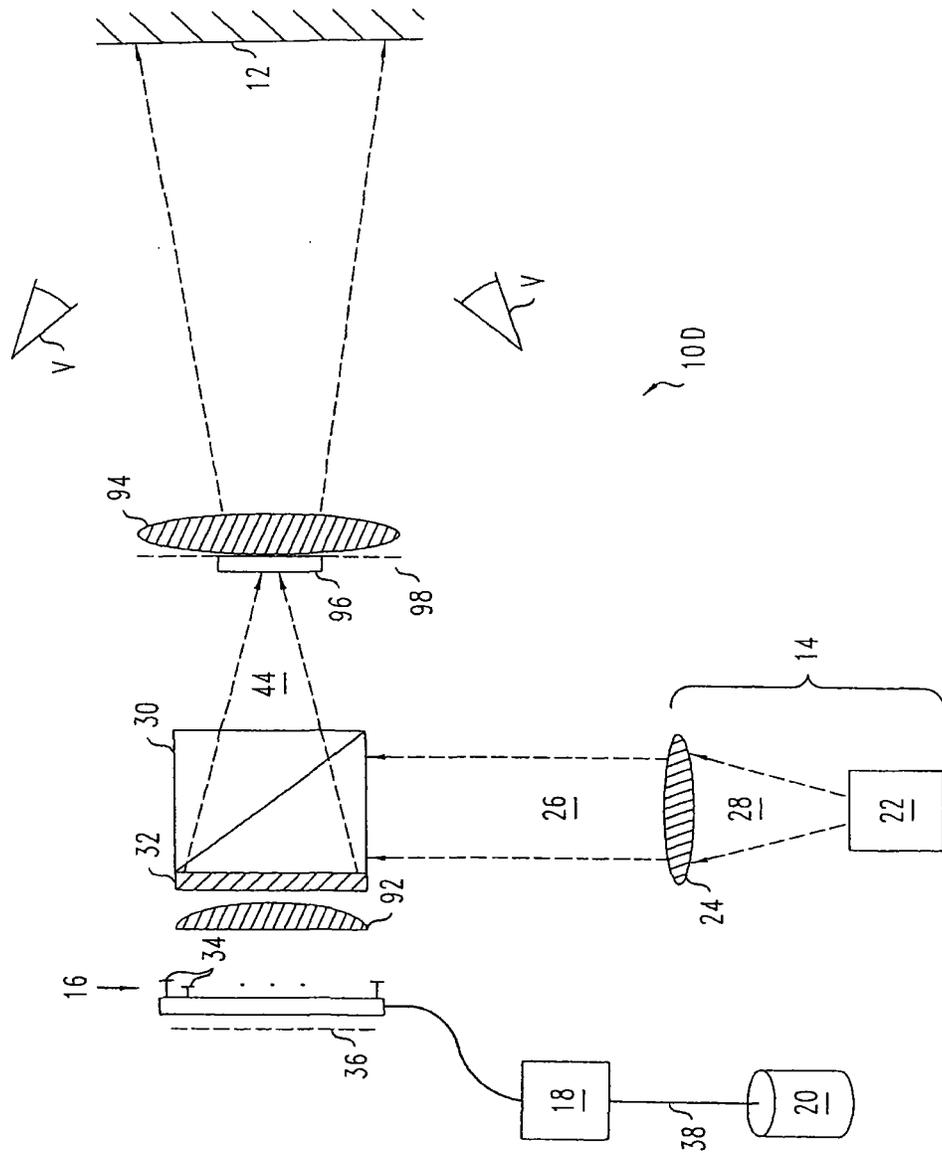


图 11D

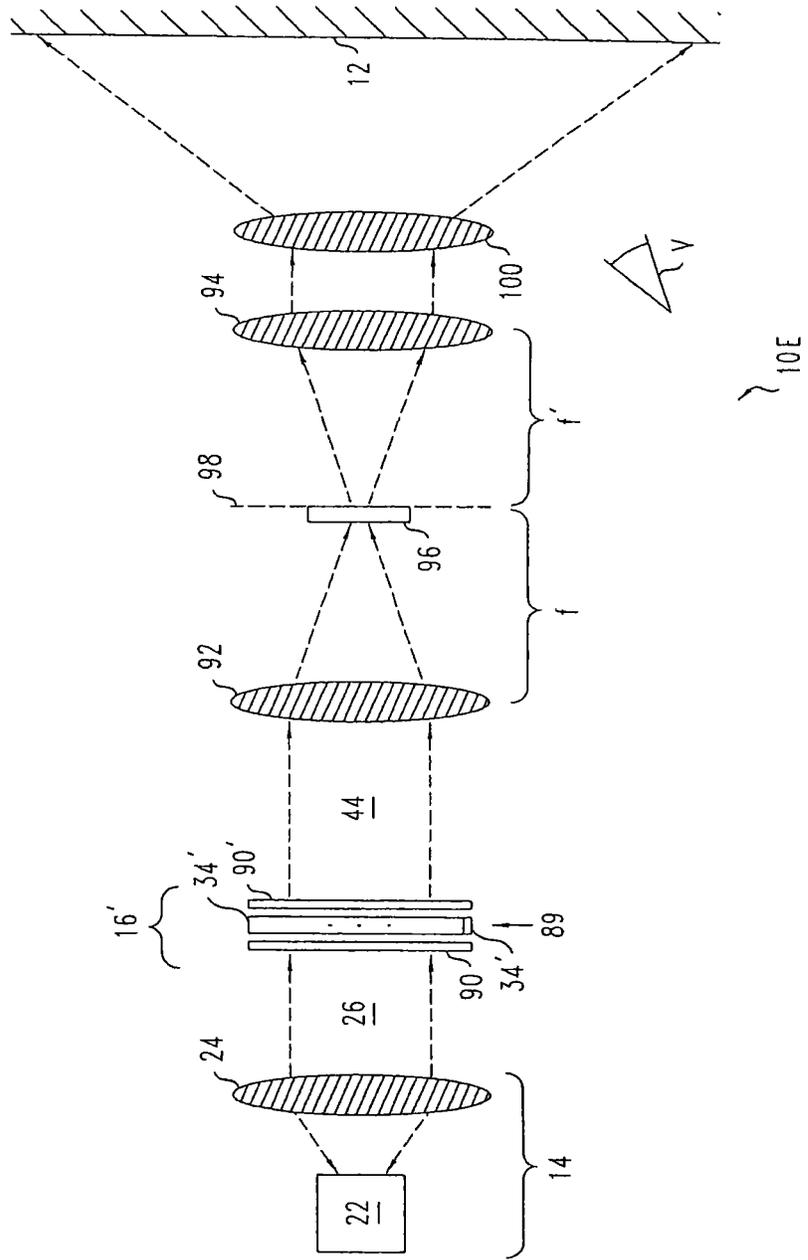


图 11E

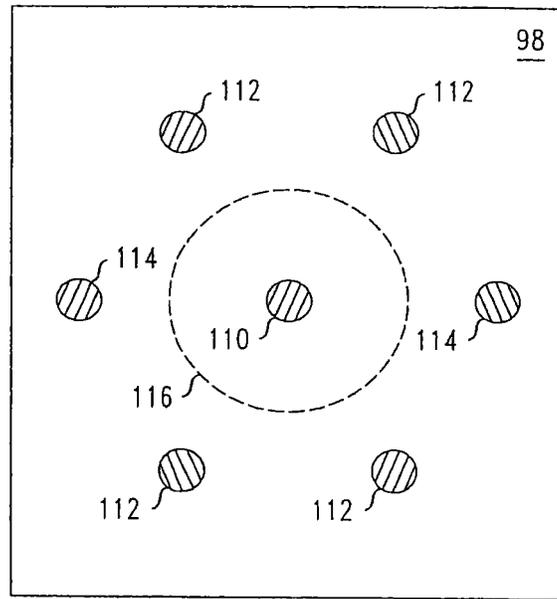


图 12A

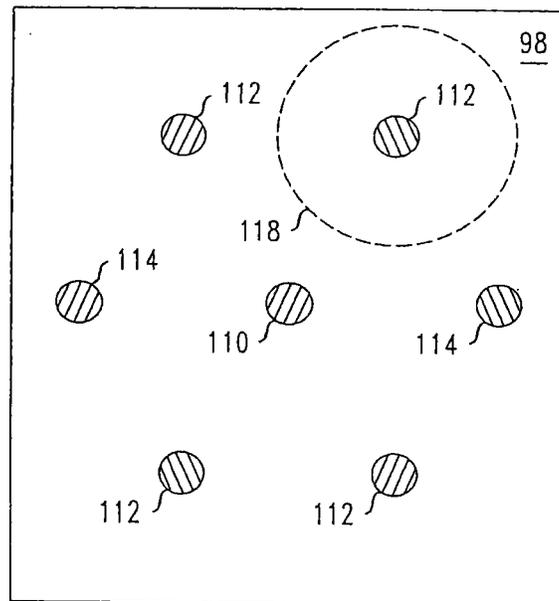


图 12B

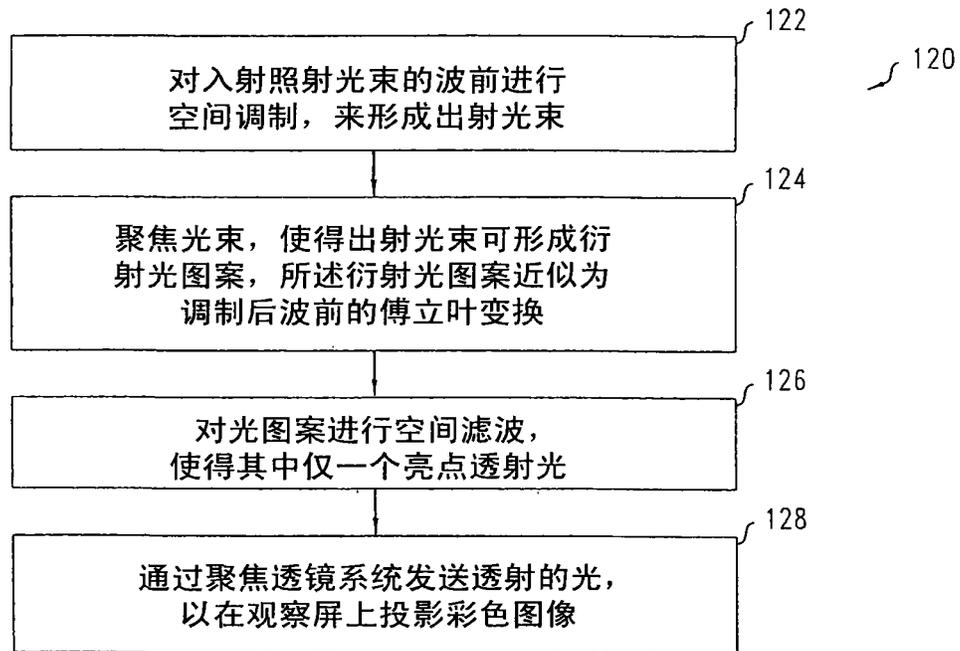


图 13

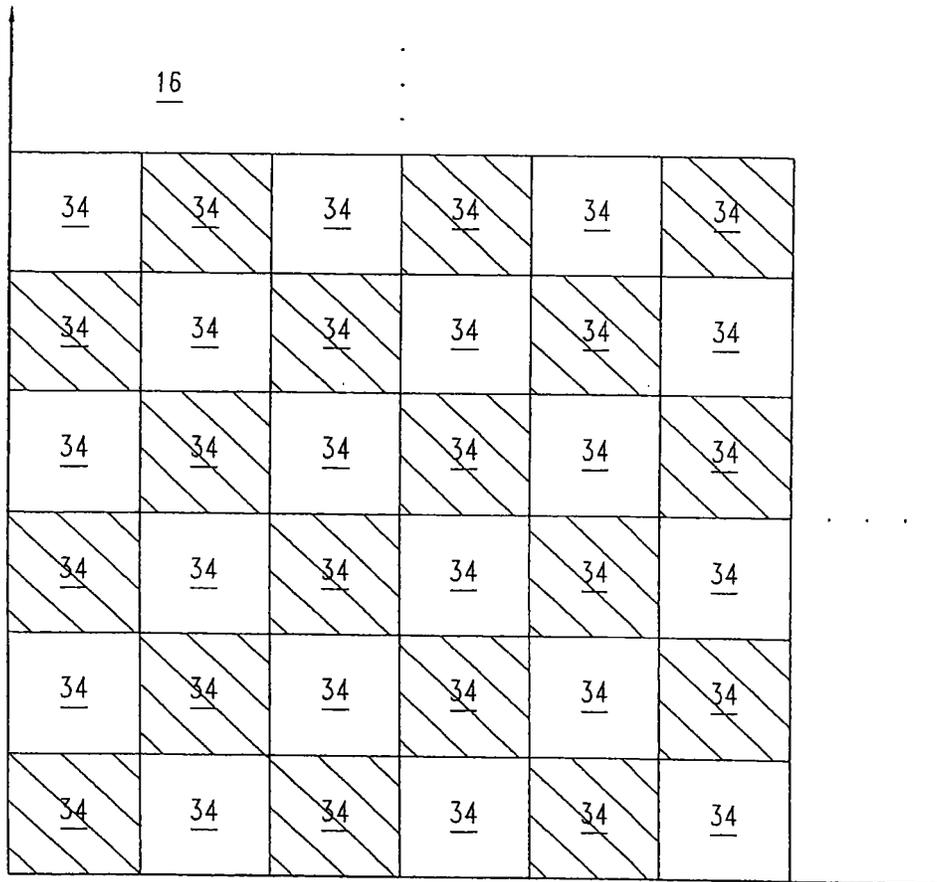


图 14A

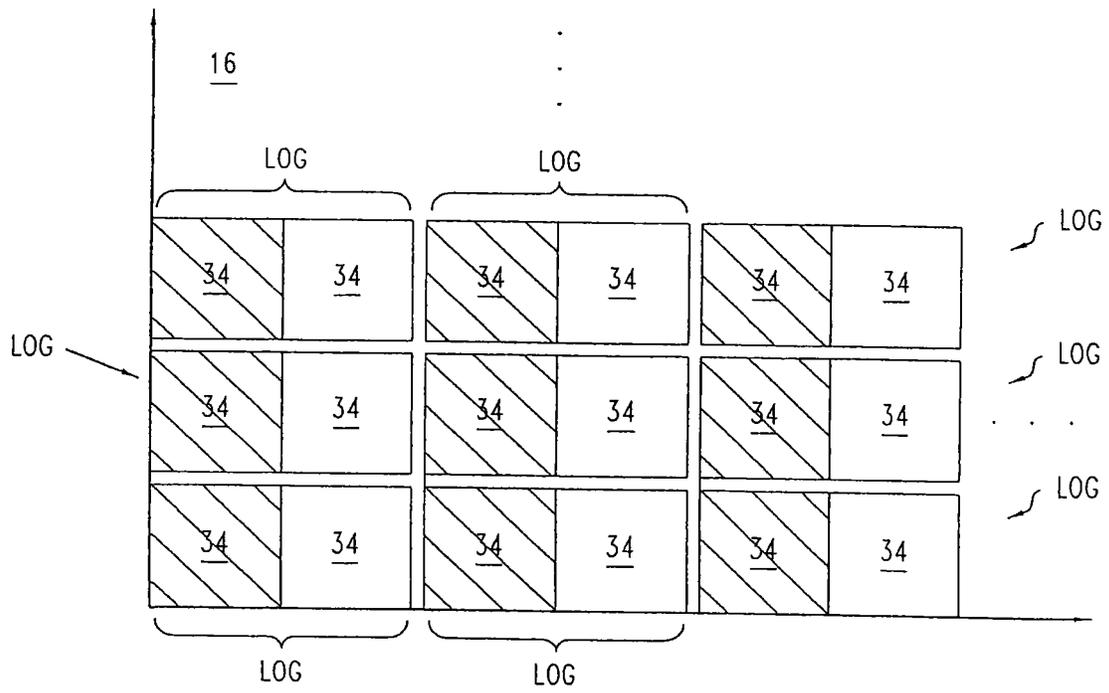


图 14B