



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101176043 B

(45) 授权公告日 2011. 04. 20

(21) 申请号 200680016563. 3

(22) 申请日 2006. 05. 12

(30) 优先权数据

102005023743. 6 2005. 05. 13 DE

(85) PCT申请进入国家阶段日

2007. 11. 13

(86) PCT申请的申请数据

PCT/DE2006/000896 2006. 05. 12

(87) PCT申请的公布数据

W02006/119760 DE 2006. 11. 16

(73) 专利权人 视瑞尔技术公司

地址 德国德累斯顿

(72) 发明人 阿明·史威特纳

(74) 专利代理机构 北京连和连知识产权代理有

限公司 11278

代理人 张春媛

(51) Int. Cl.

G03H 1/22 (2006. 01)

(56) 对比文件

DE 202004019513 U1, 2005. 03. 24,

US 2005/0256101 A1, 2005. 12. 29,

CN 1605215 A, 2005. 04. 06,

US 3924925 A, 1975. 12. 09,

审查员 任仁雄

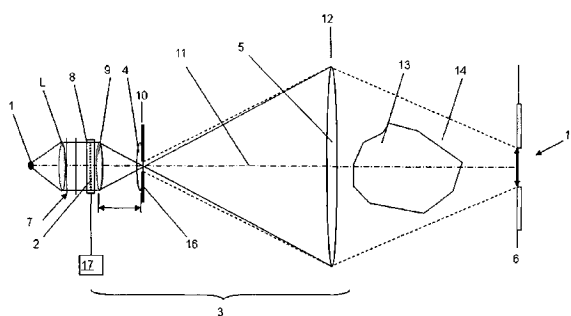
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 6 页

(54) 发明名称

用于场景全息再现的投射装置和方法

(57) 摘要

本发明涉及用于场景全息再现的投射装置和方法,利用光调制器(8),包括至少两个成像装置(4,5,9)的成像系统(3),以及生成充分相干光以便为光调制器(8)上编码的全息图(2)照明的照明系统(1)。相对设置上述至少一个成像装置(4,5),提供第一成像装置(4)用以在第二成像装置(5)的光调制器(8)的放大图像。提供第二成像装置(5)用以在包含至少一个观测窗(15)的观察者平面(6)中成像光调制器(8)的空间频谱的平面(10)。观测窗(6)与空间频谱的一个衍射级对应。



1. 用于场景全息再现的投射装置，包含光调制器 (8)，具有至少两个成像装置 (4, 5) 的成像系统 (3)，以及具有至少一个有充分相干光的光源的照明装置 (1)，用以照明光调制器 (8) 中编码的全息图 (2)，其中将至少两个成像装置 (4, 5) 设置为互相相关，以便第一成像装置 (4) 使光调制器 (8) 以放大的方式在第二成像装置 (5) 成像，第二成像装置 (5) 使光调制器 (8) 的空间频谱的平面 (10) 在包含至少一个观测窗 (15) 的观察者平面 (6) 成像，其中观测窗 (15) 对应空间频谱的一个衍射级。

2. 根据权利要求 1 所述的投射装置，其特征在于从光传播的方向看去，第一成像装置 (4) 置于光调制器 (8) 后面，第二成像装置 (5) 置于第一成像装置 (4) 和观察者平面 (6) 之间。

3. 根据权利要求 1 所述的投射装置，其特征在于空间频率滤波器 (16) 置于平面 (10) 内，该平面包含光调制器 (8) 的空间频谱。

4. 根据权利要求 1 所述的投射装置，其特征在于生成空间频谱的第三成像装置 (9) 置于光调制器 (8) 附近。

5. 根据权利要求 1 所述的投射装置，其特征在于在再现空间 (14) 中提供再现的二维或三维场景 (13)，其中，再现空间 (14) 在观测窗 (15) 与第二成像装置 (5) 之间延伸。

6. 根据前述权利要求中的一个所述的投射装置，其特征在于第二成像装置 (5) 是透镜或反射镜。

7. 根据权利要求 1 所述的投射装置，其特征在于还包含位置探测系统 (17)，其用于探测观看再现的场景 (13) 的至少一个观察者的眼睛位置的改变。

8. 根据权利要求 7 所述的投射装置，其特征在于包含至少一个偏光元件 (21)，其用于根据至少一个观察者的眼睛位置追踪至少一个观测窗 (15)。

9. 根据权利要求 8 所述的投射装置，其特征在于上述偏光元件 (21) 用于横向和轴向追踪观测窗 (15)。

10. 根据权利要求 8 所述的投射装置，其特征在于上述偏光元件 (21) 挨着第二成像装置 (5)。

11. 根据权利要求 10 所述的投射装置，其特征在于上述偏光元件 (21) 具有可控棱镜的功能。

12. 根据权利要求 10 所述的投射装置，其特征在于上述偏光元件 (21) 具有可控透镜的功能。

13. 根据权利要求 1 所述的投射装置，其特征在于光调制器 (8) 是反射型光调制器，投射装置包括至少一个分光元件 (20)，分光元件 (20) 用于引导照明装置 (1) 发出的至少一个光束。

14. 根据权利要求 13 所述的投射装置，其特征在于分光元件 (20) 置于光调制器 (8) 和第一成像装置 (4) 之间。

15. 根据权利要求 1 或 13 所述的投射装置，其特征在于为每个观察者提供两个通道以形成两个虚拟观测窗，上述通道中的每一个都包含光源 (1)，光调制器 (8)，第一成像装置 (4) 和第三成像装置 (9)。

16. 根据权利要求 1 或 13 所述的投射装置，其特征在于将三个平行通道用于同时的色彩再现，即每个对应一个原色，上述通道中的每一个都包括光源 (1)，光调制器 (8)，第

一成像装置 (4) 和第三成像装置 (9)。

17. 根据权利要求 1 所述的投射装置, 其特征在于光调制器 (8) 是微型空间光调制器。

18. 场景全息再现的方法, 其中具有至少两个成像装置 (4, 5) 的投射系统 (3) 使具有至少一个光源的照明装置 (1) 的充分相干光在观察者平面 (6) 成像, 其中上述至少一个光源照明用全息图 (2) 编码的光调制器 (8), 其特征在于第一步, 在第一成像装置 (4) 处的平面 (10) 中生成空间频谱, 作为编码的全息图 (2) 的傅利叶变换, 第二步, 第一成像装置 (4) 使光调制器 (8) 在第二成像装置 (5) 的平面 (12, 23) 成像, 其中第二成像装置 (5) 使空间频谱从第一成像装置 (4) 处的平面 (10) 在观察者平面 (6) 的至少一个虚拟观测窗 (15) 成像, 在第二成像装置 (5) 和虚拟观测窗 (15) 之间延伸的再现空间 (14) 中以放大的方式为至少一个观察者表现再现场景 (13), 再现空间 (14) 的大小因光调制器 (8) 的放大成像而增加。

19. 根据权利要求 18 所述的方法, 其特征在于第二成像装置 (5) 使空间频谱在虚拟观测窗 (15) 成像, 观察者通过虚拟观测窗观看再现的场景 (13)。

20. 根据权利要求 18 所述的方法, 其特征在于第三成像装置 (9) 置于光调制器 (8) 附近, 上述第三成像装置 (9) 在其成像侧焦平面中生成在光调制器 (8) 中编码的全息图 (2) 的空间频谱。

21. 根据权利要求 18 或 19 所述的方法, 其特征在于投射系统 (3) 中提供的空间频率滤波器 (16) 允许选定的空间频谱的周期间隔通过。

22. 根据权利要求 21 所述的方法, 其特征在于上述空间频率滤波器 (16) 补偿成像装置 (4, 5, 9) 的像差。

23. 根据前述权利要求中的任一个所述的方法, 其特征在于成像装置 (4, 5, 9) 的像差在计算全息图 (2) 时予以考虑并由光调制器 (8) 补偿。

24. 根据权利要求 18 所述的方法, 其特征在于计算全息图 (2) 时, 第一成像装置 (4) 处的平面 (10) 中的空间频谱的带宽受限。

25. 根据权利要求 18 所述的方法, 其特征在于位置探测系统 (17) 探测观看再现场景 (13) 的至少一个观察者的眼睛位置。

26. 根据权利要求 25 所述的方法, 其特征在于如果观察者的眼睛位置改变, 则更新光调制器 (8) 的全息编码。

27. 根据权利要求 26 所述的方法, 其特征在于编码再现场景 (13) 使其按照眼睛位置的改变而出现横向和 / 或垂直移位和 / 或旋转一个角度。

28. 根据权利要求 25 所述的方法, 其特征在于按照观察者眼睛的位置追踪观察者平面 (6) 中的至少一个虚拟观测窗 (15)。

29. 根据权利要求 28 所述的方法, 其特征在于至少一个偏光元件 (21) 追踪至少一个虚拟观测窗 (15)。

30. 根据权利要求 18 所述的方法, 其特征在于计算全息图 (2), 使二维场景在第二成像元件 (5) 的平面 (12, 23) 中再现。

31. 根据权利要求 18 所述的方法, 其特征在于观看场景的观察者轴向移位通过重新计算全息图 (2) 的方式提供二维场景再现的平面。

32. 根据权利要求 18 所述的方法，其特征在于为三原色连续执行场景 (13) 的色彩再现。

33. 根据权利要求 18 所述的方法，其特征在于为三原色同时进行场景 (13) 的色彩再现。

34. 根据权利要求 33 所述的方法，其特征在于利用三个平行的通道同时进行场景 (13) 的色彩再现，上述通道中的每一个都包含光源 (1)，光调制器 (8)，第一成像装置 (4) 和第三成像装置 (9)。

用于场景全息再现的投射装置和方法

技术领域

[0001] 本发明用于涉及场景全息再现的投射装置，上述装置包含空间光调制器，具有至少两个成像装置的成像系统，以及具有至少一个生成充分相干光为光调制器上编码的全息图照明的光源的照明系统。本发明还涉及场景全息再现的方法。

背景技术

[0002] 公知的 3D 显示器或 3D 投射装置及方法通常在立体效果上具有优势，产生立体影像的光在平面上反射或由平面发出。但是，全息技术中全息图发出的光在场景的目标点干涉，从此处自然传播。全息再现是目标替换。反之，任何形式的非移动（静止）或移动场景的立体图不表现目标替换。它们提供有两个平面图像，一个用于左眼，一个用于右眼，上述图像对应两只眼睛的位置。三维效果由两个图像的视差生成。全息图中公知的与立体视觉相伴的问题，例如疲劳、眼睛疲劳和头疼不会发生，因为观看全息再现场景和自然场景没有差别。

[0003] 在全息技术中，通常分为静态和动态方法。静态全息技术中，全息媒介主要用于信息存储。这意味着载有目标信息的光束使参考光束分层，以便记录摄影介质上的干涉图样。利用与参考光束相同或类似的光束再现上述静态目标信息。但是，因为上述再现的理想的空间特性，所以例如娱乐业或医药和军事装备制造者长久以来对利用动态全息技术实时表现移动场景感兴趣。大多数实例中使用所谓微显示器，就像他们也用于投射装置。微显示器例如是硅上液晶（liquid crystal on silicon, LCoS）板，透射的 LCD 板或微电子机械系统（micro electro-mechanical systems, MEMS）。由于它们的像素中心之间的距离，即像素间距比其他显示器小，所以得到衍射角相对较大。但是公知的采用微显示器的全息方法的主要缺点在于再现或再现场景的大小由微显示器的大小极大的限制。微显示器和类似的光调制器的大小为几英寸，虽然间距相对较小，但其具有衍射角还是很小，所以很难用双眼观看场景。例如仅 $5\mu\text{m}$ 的极小间距造成 500nm （绿-蓝）的入射波长 λ 带来的衍射角为 0.1rad 。在 50cm 的观察者距离获得 5cm 的横向尺寸，使场景不能用双眼看到。

[0004] 对于动态全息图、典型为计算机生成全息图的三维表现全息再现装置利用例如 TFT, LCoS, MEMS, DMD (digital micro-mirror device, 数字微镜技术), OASLM (optically addressed spatial light modulator, 光寻址空间光调制器), EASLM (electronically addressed spatial light modulator, 电寻址空间光调制器), FLC (ferro-electric liquid crystal display, 铁电液晶显示器) 等等的透射型或反射型光调制器。上述光调制器可以是一维或二维的设计。采用反射型光调制器的原因是与透射型显示器相比，其制造成本相对较低，用于高照明效率的大填充因数 (fill factor)，转换延迟短，吸收产生的光损失很小。但是，必须忍受较小的空间尺寸。

[0005] 公开号为 WO03/060612 的专利公开了一种反射型 LC 显示器，其分辨率为 $12\mu\text{m}$ ，全息图实时色彩再现的反射率达到 90%。利用一个或多个 LED 通过物镜 (field

lens) 的准直光进行再现。利用该分辨率, 可以在大约 1m 的距离观察仅约 3cm 宽的区域, 不足以同时用双眼、也就是以三维方式观看再现的场景。此外, 因为显示器尺寸小, 所以只能再现相对较小的目标。

[0006] 公开号为 WO02/005503 的专利公开了采用 DMD 芯片进行全息再现的全息 3D 投射装置。但即使光调制器的分辨率高、反射系数大、转换延迟小, 由于与 WO03/060612 专利提到的相同原因, 上述装置也只能再现小尺寸的场景, 并只能在很小的区域观看。造成上述结果的原因还是由光调制器和可见区的尺寸确定的再现空间小。此外, DMD 芯片因为其受限相干, 仅部分适合全息目标。

[0007] 公开号为 WO00/75699 的专利公开了一种利用子全息图再现视频全息图的全息显示器。该方法也被称为拼砌 (tiling)。使甚高速电可寻址空间光调制器 (EASLM) 中编码的子全息图持续地在介质 (intermediate) 平面成像。该过程执行得很快, 使得观察者将所有子全息图的再现感受成 3D 目标的单独再现。提供特别设计的照明和成像系统将子全息图排列于介质平面的矩阵结构中, 例如包括受控与 EASLM 同步的、仅使对应的子全息图通过的, 特别是屏蔽不用的衍射级的光阀。但是, 其对于再现子全息图的 SLM 的动态特性的要求很高, 平板设计是不可行的。

[0008] 上述解决方法普遍具有以下主要缺陷。再现的空间范围由用于全息再现的光调制器的小尺寸限制。WO00/75699 所述的拼砌方法允许再现较大的场景, 但其需要将装置设计为体积很大。由于使用的像素数目增加, 计算全息图的计算负载和数据传输率实质上增加, 使得实时再现很困难。采用连续拼砌方法时, 如从 WO00/75699 中所知道的, 对使用的 SLM 的动态特性要很高。

发明内容

[0009] 因此, 本发明的目的是为二维和三维场景的全息再现提供投射装置, 消除上述现有技术显示出来的缺点, 在大再现空间再现和表现任何尺寸的场景, 从而可以利用少量光学元件以简便、便宜的方式高质量地再现大的移动场景。

[0010] 上述目的通过权利要求 1 的特征定义的本发明的投射装置和权利要求 18 的特征定义的方法而得以实现。

[0011] 根据本发明, 通过用于场景全息再现的投射装置达到上述目的, 该投射装置包含光调制器, 具有至少两个成像装置的成像系统, 以及具有至少一个光源的照明装置, 该光源具有充分相干光以照明在光调制器中编码的全息图, 其中上述至少两个成像装置互相相对设置, 使得第一成像装置将光调制器以放大的方式在第二成像装置成像, 第二成像装置使光调制器的空间频谱的平面在包含至少一个虚拟观测窗的观察者平面成像, 其中虚拟观测窗对应空间频谱的一个衍射级。

[0012] 根据本发明, 投射装置除光调制器和发出充分相干光的照明装置外, 最好还包含含有第一和第二成像装置的成像系统。光调制器是小尺寸的空间光调制器, 因此以下将其称为微 SLM。第一成像装置以放大的方式使微 SLM 在第二成像装置成像, 第二成像装置使微 SLM 的空间频谱 (傅立叶谱) 在观测窗成像。观测窗是全息图的傅立叶平面采用的衍射级的投射。为了使第一成像装置能够将整个微 SLM 在第二成像装置成像, 第一成像装置必须覆盖需要的衍射级的所有分布。这通过在第一成像装置的平面中聚焦微

SLM 调制的光完成，其中生成空间频谱。因此从波传播的方向看，可以利用在微 SLM 后面会聚的波照明微 SLM。微 SLM 和第一成像装置的傅立叶平面设于微 SLM 的空间频谱的平面。第二成像装置和观测窗确定锥台状再现空间。在该锥台空间中，向一个或多个观察者显示再现场景，特别是再现的三维场景。再现空间可以继续到达超过第二成像装置后面的任意范围。因此观察者可以通过的观测窗观看大的再现空间中的再现场景。在本文件中，术语“充分相干光”表示能够为三维场景再现产生干涉的光。

[0013] 根据本发明的上述投射装置因而仅包括很少的用于全息再现的光学元件。与公知的光学装置相比，对光学元件的质量要求很小。这确保了投射装置是便宜、简单而紧凑的设计，其中可以使用小的光调制器，例如先前在投射装置中使用的微 SLM。微 SLM 的有限尺寸也限制了像素数目。这极大地减少了计算全息图需要的时间，从而可以使用市售的计算机装置。

[0014] 在本发明的较佳实施例中，可以将空间频率滤波器设于光调制器所在的空间频谱平面中。

[0015] 在像素的微 SLM 中编码的一维或二维全息图产生傅立叶平面中的空间频谱的周期性再现，其中像素以规则图案设置。为了抑制或消除周期性，空间频率滤波器，此处特别是仅透过使用的衍射级的孔，最好设于上述平面中。各个衍射级典型地是重叠的，以使孔切断信息或使不希望的信息导通。但是，通过微 SLM 上表示的信息的低通滤波区分各个衍射级，防止信息被孔切断。通常可以将上述孔概括为空间频率滤波器，其过滤需要的衍射级，避免微 SLM 的量化误差和其他误差，或者以其他合适的方法调制波场，比如用于补偿投射装置的像差。这可以例如通过增加一项球面镜功能的空间频率滤波器完成上述功能。

[0016] 另一优点在于，空间频谱减小到一个衍射级并且该衍射级和作为观测窗的孔的成像防止任何串扰，该串扰在使用带有矩阵结构的光调制器的再现中会典型地出现。多路过程中可以为观察者的左眼和右眼逐个地提供各自的信息而没有串扰。此外，仅那时为多个人提供的多路过程才成为可能。

[0017] 使用不显示规则像素设置、也就是不引起取样的光调制器，傅立叶平面也就不会显示周期性。因而孔是多余的。上述光调制器例如是 OASLM。

[0018] 另一较佳实施例可以包含设于光调制器附近的第三成像装置，用于生成空间频谱。

[0019] 第三成像装置在其成像侧焦平面生成空间频谱，作为微 SLM 上编码的全息图的傅立叶变换。最好使用第三成像装置结合准直照明，因为没有上述投射装置的话，光只能以大衍射角到达第一成像装置。第三成像装置还可以例如设于 SLM 的前面或后面。因此，第三成像装置将微 SLM 发出的光或波聚焦到其成像侧平面。然而微 SLM 还可以发出稍微会聚的波，利用其他成像装置加强上述聚焦。但是如果将会聚波用于照明，则第三成像装置不是必需的，因为最好的是调整入射到微 SLM 中的再现波使得其在第一成像装置的平面会聚。无论如何总生成一个焦平面，表现微 SLM 的傅立叶平面，第一投射装置也设于其中。

[0020] 为了能在大区域内为观察者提供观测窗，可以利用位置探测系统在观看再现场景时探测至少一个观察者的眼睛位置。

[0021] 位置探测系统探测观看再现场景的观察者的眼睛位置或瞳孔位置。根据观察者的眼睛位置编码场景。然后可以根据新的眼睛位置追踪观测窗。特别是可以进行空间固定但透视图实时变化的表现和进行透视图放大变化的表现。将后者定义为一种再现的类型，其中场景的角度和位置的变化比观察者的角度和位置的变化大。

[0022] 显示装置中提供至少一个偏光元件，以便根据观察者眼睛的位置追踪至少一个观测窗。上述偏光元件可以是机械、电子或光学元件。

[0023] 偏光元件可以例如以可控光学元件的形式设于第一成像装置的平面中，像棱镜一样虚拟移位的光谱。但是，也可以在第二成像装置附近提供偏光元件。上述偏光元件具有棱镜的效果，可选择地，具有透镜的效果。因此可以横向，可选择地，轴向追踪观测窗。上述使偏光元件靠近第二成像装置的设置最好，因为从光源到第二成像元件的整个成像是静态系统。这意味着到达第二成像装置的光学路径总是不变的。首先，这将减低对一部分光学系统的要求，因为第一和第二成像装置的入射光瞳可以保持为最小。如果移位微 SLM 或其图像以追踪观测窗，则第一和第二成像装置的入射光瞳必须变大。这将极大地降低对第二成像装置的要求。其次，光学系统的上述静态部分的投射特性可以被最好地校正。第三，微 SLM 的图像不会在第二成像装置上移动。这使得例如第二成像装置上的二维场景再现的位置与观察者位置无关。

[0024] 根据本发明通过场景全息再现的方法进一步达到上述目的，其中具有至少两个成像装置的成像系统使带有至少一个光源的照明装置发出的充分相干光在观察者平面成像，其中上述至少一个光源照明用全息图编码的光调制器，其中第一步，在第一成像装置的平面上生成空间频谱，作为编码全息图的傅立叶变换，第二步，第一成像装置使光调制器在第二成像装置的平面成像，第二成像装置将空间频谱从第一成像装置的平面成像到观察者平面的至少一个虚拟观测窗，在第二成像装置和虚拟观测窗之间延伸的再现空间内以放大的方式为至少一个观察者显示再现的场景，再现空间的大小因光调制器的放大成像而扩大。

[0025] 根据本发明，为了使用相干或部分相干照明再现场景，第一步中，作为傅立叶变换的在光调制器、此处为微 SLM 上编码的全息图的空间频谱在第一成像装置的平面中生成。在第二步中，第一成像装置接着使微 SLM 的图像在第二成像装置的平面中成像，从而放大微 SLM。随着微 SLM 的放大成像，第三步中第二成像装置将空间频谱的图像从第一成像装置投射到观察者平面，从而在观察者平面中形成虚拟观测窗。因而增大从观测窗延伸到第二成像装置并以放大的方式为一个或多个观察者显示再现场景的再现空间。应当注意的是，再现空间不受第二成像装置和观测窗限制，而是向后延伸超过第二成像装置。

[0026] 利用根据本发明的方法，可以以放大的方式在大的再现空间高质量地同时或依次显示二维和三维场景来观看。在混合的 2D/3D 表现中，2D 表现的平面最好位于三维场景中。在仅有 2D 表现的情况下，2D 表现的平面最好位于第二成像装置中。这种情况下用二维图像编码的微 SLM 时，微 SLM 的放大图像将在上述平面中出现。最好是二维图像也可以朝向或远离观察者移动。

[0027] 根据本方法的较佳实施例，成像装置的像差在计算全息图时便予以考虑，并由光调制器补偿。

[0028] 像差导致频谱和图像的不连续,上述不连续对再现质量有负面影响。将第一成像装置定位在微 SLM 的傅立叶平面时,由于聚焦而使用于投射的第一成像装置仅有最小的横向范围。这确保第一成像装置的像差最小。还必须确保第一成像装置以放大的方式使微 SLM 成像,将其全部均匀地照射到第二成像装置。第二和可能的其他成像装置的像差可以由微 SLM 补偿。可用附加的相位变换容易地校正与像差共同出现的相位误差。

[0029] 空间频率滤波器还可以补偿用在投射装置中的成像装置的像差。

[0030] 本发明的其他实施例由其他从属权利要求限定。本发明的实施例将在下面详细解释并结合附图说明。本发明的原理将基于单色光的全息再现进行解释。但是,所属技术领域的技术人员应当知道本发明可以用于色彩全息再现,如实施例中的说明所表示的。

附图说明

[0031] 图 1 表示根据本发明的利用成像系统进行场景全息再现的投射装置的工作原理。

[0032] 图 2 表示斜面波撞击光调制器时图 1 所示的投射装置的细节。

[0033] 图 3 表示会聚波撞击光调制器时图 1 所示的投射装置的细节。

[0034] 图 4 表示根据本发明的具有反射型光调制器和分光元件的投射装置的另一实施例。

[0035] 图 5 表示投射装置中包含的偏光元件,上述元件用于追踪观测窗。

[0036] 图 6 表示投射装置中追踪观测窗的另一种可能结构。

[0037] 图 7 表示根据本发明的具有作为第二投射装置的凹面镜的成像装置的另一实施例。

[0038] 图 8 表示观看场景的单个再现点时图 1 所示的投射装置。

具体实施方式

[0039] 图 1 表示根据本发明的投射装置的工作原理,其中成像系统 3 使在此表示为点光源的照明装置 1 在观察者平面 6 成像。成像系统 3 包含第一成像装置 4 和第二成像装置 5。光源 1 发出场景全息重现所需的相干或充分相干光。光源 1 可以是激光、LED 或其他光源,也可以采用滤色片。

[0040] 现参照图 1 说明投射装置的工作原理。光源 1 发出的波由准直镜 L 转换成平面波 7。从光源 1 发出的波 7 通过准直镜 L 成为平面波,其以直角撞击带有规则排列的像素的透射空间光调制器 8,空间光调制器表现编码的动态全息图 2,例如 CGH,其中在空间光调制器 8 的等距位置调制平面波 7 的波阵面,以便形成需要的波阵面。空间光调制器 8 的尺寸很小,因此以下将其称为微 SLM。

[0041] 从光传播的方向看,将第三成像装置 9 设于微 SLM8 的后面。此处为透镜的第三成像装置 9 在使用透射光调制器时也可以设于微 SLM8 前面。受到平面波 7 照射时,第三投射装置在其成像侧焦平面 10 产生空间频谱,作为在微 SLM8 中编码的信息的傅立叶变换。空间频谱也可以称为傅立叶谱。如果用非平面的会聚波或渐散波照射微 SLM8,则焦平面 10 沿光轴线 11 移位。

[0042] 如果微 SLM8 受到平面波照射并且投射装置中省略第三成像装置 9, 则只有衍生角足够大的光才能到达第二成像装置 5。

[0043] 第一成像装置 4 设于第三成像装置 9 的焦平面 10 附近。上述第一成像装置 4 使微 SLM 以放大的方式在平面 12 上成像, 该平面位于第二成像装置 5 或其附近。此处, 第二成像装置 5 是比其他成像装置 4 和 9 大很多的透镜, 所以尺寸尽可能大的场景 13 在锥台形再现空间 14 中再现。微 SLM8 在平面 12 成像的同时, 其空间频谱由第二成像装置 5 成像到观察者平面 6。从而形成实际上不存在的虚拟观测窗 15, 其范围对应于空间频谱的周期的成像。观察者可以通过观测窗 15 看到再现的场景 13。场景 13 的再现在观测窗 15 边缘与第二成像装置 5 之间伸展的锥台形再现空间 14 内产生。再现空间 14 也可以向后延伸直到超出第二成像装置 5 的任何范围。

[0044] 由于通过微 SLM8 的信息是等距扫描的, 其表示在规则矩阵中, 所以该微 SLM8 在第三成像装置 9 的焦平面 10 的周期延续中产生多个衍射级。该周期延续在焦平面 10 具有一个周期间隔, 其大小与微 SLM8 的间距互为倒数。该间距对应微 SLM8 中的扫描点之间的距离。因此第二成像装置 5 使焦平面 10 中的周期分布在观察者平面 6 成像。如果观察者在观察者平面 6 中处于一个衍射级, 则他可以用一只眼睛看到无干扰的重现场景 13, 但另一只眼睛可以同时看到干扰的高衍射级。

[0045] 对于排列在矩阵中的低分辨率的空间光调制器, 即像素间距 $\gg \lambda$ (再现波长), 周期角可以用适当的近似值 ($\lambda / \text{间距}$) 表示。假定波长 λ 为 500nm, 微 SLM8 的间距为 10 μm , 衍射角可以达到大约 $\pm 1/20\text{rad}$ (弧度)。如果第三成像装置 9 的焦距是 20mm, 则上述角度对应的周期间隔的横向范围约为 1mm。

[0046] 为了抑制周期性, 将孔 16 设于第一成像装置 4 后面的焦平面 10 中, 上述孔 16 仅允许一个周期间隔或需要的衍射级通过。在该实例中, 孔具有低通、高通和带通滤波器的作用。由第二成像元件 5 将孔 16 在观察者平面 6 成像, 在此处形成观测窗 15。投射装置中的孔 16 的优点在于在防止其他周期对另一只眼睛或其他观察者的眼睛的串扰。但是微 SLM8 的有限带宽的空间频谱是它的一个条件。

[0047] 在焦平面 10 中不显示周期性的空间光调制器, 例如光可寻址光调制器 (optically addressable light modulators, OASLM) 不需要使用孔 16。

[0048] 空间光调制器通常排列在矩阵中。因而焦平面 10 中的空间频谱是周期连续的。然而, 三维场景通常需要全息图 2 在微 SLM8 中编码, 其空间频谱超过焦平面 10 的周期间隔。这导致单个衍射级的重叠。该焦平面 10 中的孔 16 在这种情况下一方面切断使用的衍射级的信息运载部分, 另一方面允许高衍射级通过。为了抑制上述结果, 通过在先滤波使三维场景限于焦平面 10 的空间频谱。在计算全息图 2 时已经考虑过在先滤波或带宽限制。带宽受限的衍射级因而互相分开。焦平面 10 中的孔 16 将阻止高衍射级而不会限制选定的衍射级。这避免了一只眼睛的信息与观察者的另一只眼睛或其他观察者串扰。

[0049] 可以将孔 16 扩展以形成空间频率滤波器。空间频率滤波器是改变入射波幅度和 / 或相位的复值调制元件。空间频率滤波器因而提供分离衍射级功能以外还提供其他功能, 例如抑制第三成像装置 9 的像差。

[0050] 为了能够根据观察者眼睛的移动追踪观测窗 15, 投射装置包含位置探测系统

17, 在观察者观看再现场景 13 时探测观察者眼睛的实际位置。上述信息用于采用适当的方式追踪观测窗 15。因而可以使微 SLM8 上的全息图 2 的编码适用于实际的眼睛位置。再编码再现的场景 13, 使其根据实际的观察者位置水平和 / 或垂直移动和 / 或以一定角度转动呈现。特别是可以有固定在空间中但透视图实时变化的表现和透视图放大变化的表现。将后者定义为一种表现类型, 其中目标的角度和位置的改变大于观察者的角度和位置的改变。投射装置包含在图 5 中详细表示的追踪观测窗 15 的偏转元件 (图 1 中未示)。

[0051] 在微 SLM8 具有低分辨率的情况下, 则观测窗 15 不允许观察者用双眼同时观看再现的场景 13。可以继续另一观测窗或同时利用第二光通路对观察者的另一只眼睛寻址。如果微 SLM8 具有足够高的分辨率, 则可以在一个微 SLM 上编码用于右眼和左眼的全息图, 并采用空间多路方法。

[0052] 如果采用一维空间光调制器, 则只能一维再现。如果一维空间调制器为垂直方向, 则再现也只是垂直的。利用上述垂直编码的全息图, 空间光调制器的空间频谱表示焦平面 10 中的周期延续仅出现在垂直方向。因而离开一维空间光调制器的光波在水平方向传播。采用一维空间光调制器时, 则必须使用其他聚焦光学元件例如柱面透镜在垂直于再现方向聚焦。

[0053] 图 2 表示图 1 所示的投射装置的细节。明确地说, 该细节表示具有成像装置 4 和 9 以及孔 16 的微 SLM8。在该实施例中不是使平面波 7 如图 1 所示的以直角撞击微 SLM8, 而是采用倾斜的平面波阵面 18。如果将迂回相位编码 (detour phase encoding) 方法用于编码全息图 2, 则特别有好处。迂回相位编码时, 如果使用纯幅度全息图, 则倾斜波以需要的相位撞击相邻的像素。如果据此选择入射角, 则每隔两个像素的相位相同, 例如 (Burckhardt 编码)。根据上述方法, 三个像素编码一个复值。采用迂回相位编码方法时, 除衍射 1 级或衍射 -1 级以外, 阻挡所有的衍射级。

[0054] 在这种情况下, 衍射 0 级的中心与焦平面 10 中的光轴线 11 成直角, 如图中的虚线所示的边线所示。设置第一成像装置 4 和孔 16 使得衍射 1 级或衍射 -1 级可以通过, 如实线所示的边线所示。

[0055] 图 3 也表示图 1 的投射装置的细节。代替以直角装置全息图的平面波的是, 会聚波 19 用于再现。从图中可以看出, 如果调整会聚波 19 使得第一成像元件 4 位于会聚波 19 的焦点, 且微 SLM8 中编码的编码全息图 2 的空间频谱生成于焦平面 10 中, 则在会聚照明的情况下可以省略第三成像装置 9。如果入射波是会聚改变, 则会聚点沿光轴线 11 移位。

[0056] 图 4 表示根据本发明的投射装置的另一实施例, 其具有反射的微 SLM8 和分光元件 20。分光元件 20 设于第三成像装置 9 和第一成像装置 4 之间, 目的在于引导入射平面波 7。分光元件 20 可以是单色或二色分光立方体、半透镜或其它任意波束耦合装置。

[0057] 由于该实施例中的微 SLM8 是反射微 SLM8, 而且光因反射要覆盖两倍的距离, 所以全息图 2 的编码必须因此而调整。如果连续再现场景 13 的三原色 RGB (红 - 绿 - 蓝), 则通过二色分光镜入射的光波 7 特别有益。该实施例中未表示各个原色的三个光源。参照图 1 说明再现的场景。连续再现的特殊优点在于采用相同的光通路。仅编码必须调整以便在不同的波长 λ 再现。

[0058] 本实施例可以进一步改进, 其中为三原色 RGB 中的每一个提供单独的通道、上述每个通道包含发射一个原色光的光源、微 SLM8、成像装置 4 和 9 以及孔 16 或空间频率滤波器。如果利用会聚波照射微 SLM, 则又可以省略第三成像装置 9。此外, 分光元件可以用于结合三个通道。为了对场景 13 进行同时的色彩再现, 可以提供分光元件, 其由四个邻接的独立棱镜构成, 它们之间具有表示出不同的特定波长的透射率和反射率值的二色介面层。用于单原色的三个通道的光通过三个侧面入射, 而通过第四个侧面发出分层的光。上述由三原色组成的光随后进入第二成像装置 5 再现彩色场景。

[0059] 上述三个通道也可以平行方式排列。第二成像装置 5 通常可以由全部三个通道使用。这种方法下, 以全部三种色彩同时再现场景。

[0060] 此外, 可以为观察者的每只眼睛提供单独的通道。另外, 每个通道包含一个原色的单色光源、微 SLM8、成像装置 4 和 9, 以及孔 16。第二成像装置 5 通常可以用于两个通道。两个通道使其观测窗在观察者的眼睛成像。

[0061] 此外, 可以为每个观察者眼睛提供独立的通道, 其中每个通道包含用于三原色 RGB 的三个子通道。

[0062] 在所有上述色彩再现的选择中, 必须确保三原色中的再现完全一致。

[0063] 上面的实施例也允许根据观察者眼睛的位置追踪观测窗 15, 如果观察者移动的话。图 5 表示一种追踪观测窗 15 的方法的工作原理。为了能够追踪在图中由箭头表示的观察者平面 6 中的观测窗 15, 光束利用此处用多面镜表示的偏光元件 21 在焦平面 10 后偏转。这样就使观测窗 15 追踪到观察者。可以将诸如多面镜, 检电镜和棱镜的机械偏光元件或诸如可控栅极或其它偏光元件的光学偏光元件用作偏光元件 21。

[0064] 如图 6 所示, 观测窗 15 可以特别好地被追踪。此时偏光元件 21 具有可控棱镜的功能。偏光元件 21 设于投射装置 5 的附近, 也就是从光传播的方向看去在成像装置 5 的前面或后面, 或者其形成成像装置 5 本身的集成部分。偏光元件 21 除了起到棱镜的作用外, 还可选择地显示透镜的作用。因此可以获得对观测窗 15 的横向, 可选择地, 轴向追踪。

[0065] 上述具有棱镜功能的偏光元件 21 可以例如通过在一种透明材料制成的基材中嵌入充满双折射液晶的棱镜状元件制造, 或通过上述元件用与该元件的折射率不同的一个基材包围制造。由上述多个元件中的一个偏光的光束的角度由基底材料的折射率和液晶材料的折射率之比决定。因此, 液晶的方向以及有效折射率由这些元件暴露在其中的电场控制。这样, 偏光角度可以依靠电场控制, 以便根据观察者的移动追踪观测窗 15。

[0066] 还可以通过移置垂直于光轴线 11 移动光源 1 追踪观测窗 15。必须根据焦平面 10 上的焦点的新位置移置第一成像装置 4 和孔 16。微 SLM8 的衍射 0 级又将位于焦平面 10 上的焦点周围。

[0067] 图 7 表示根据本发明的投射装置的另一实施例, 其将凹面镜 22 用作第二成像装置 5, 而不是图 1 所示的透镜。以结合图 1 说明的相同方法再现场景。但是第一成像装置 4 不使微 SLM8 在平面 12 成像, 而是使其在凹面镜 22 的平面 23 或其周围成像。因为波由凹面镜 22 反射, 所以依照上述反射形成观测窗 15。因此, 可以观察到再现场景 13 的再现空间 14 在观测窗 15 和凹面镜 22 之间延伸。如上所述, 再现空间 14 还可以继续向后直到超出凹面镜 22 的任意范围。因此, 可以提供更紧凑的投射装置。与透镜相比,

采用凹面镜 22 的其他优点是其更容易制成无像差，制造简便，重量轻。

[0068] 采用平焦镜 (flat focusing mirror) 作为成像装置 5 是非常有益的。上述成像装置 5 可以是全息光学元件 (HOE) 或者衍射光学元件 (DOE)。成像装置 5 具有使再现波反射后在观测窗 15 会聚的相位图样。HOE 或 DOE 形式的成像装置 5 与凹面镜 22 的作用相同。HOE 或 DOE 的优点为其为平板设计且可以便宜地制造。上述镜可以利用公知方法制造，例如干涉测量法，平板印刷，凸浮法，模压固化，挤压或其他方法。它们由光阻材料，聚合物，金属，玻璃或其他基材制成。它们也可以在外表具有反射涂层。

[0069] 图 8 表示具有场景 13 的单个再现点 24 的图 1 的投射装置。成像装置 5 与两个成像装置 4 和 9 相比比较大。它只有小部分必须无像差。为了便于理解，仅讨论场景 13 的一个再现点 24，尽管场景由多个点组成。点 24 仅在观测窗 15 中可见。观测窗 15 是选定的衍射级从平面 10 的成像，并用作窗，观察者可以通过该窗看到再现的场景 13。全息图 2 的带宽受限的编码如上所述，目的是防止高衍射级重叠。上述编码确保衍射级不会在平面 10 中重叠。对于观察者平面 6 中的成像也是这样。再现场景 13 的每个点都仅由第二成像装置 5 上的微 SLM8 的一部分产生。观测窗 15 的边缘光通过点 24 投射到第二成像装置 5，清楚地显示出为再现点 24 起作用的成像装置 5 上的一个小区域。这意味着对于场景中的每个点，成像装置 5 都有这样的受限区域。上述区域比大的第二成像装置 5 小。因此相干需求仅与上述小区域有关，特别符合对充分小的波阵面失真 $\ll \lambda/10$ 的需求。在上述小区域中成像必须有很高的相干质量，必须考虑到场景 13 的所有点。因而表示第二成像装置 5 跨过整个元件的极低的波阵面失真并非必要。对第二成像装置 5 的要求因而大部减少为几何形状的稳定性的。

[0070] 此外，投射装置不仅仅采用微 SLM8 再现很大的二维和三维场景 13，该场景在再现空间 14 内形成并可以通过观测窗 15 观察，但最好同时校正光学成像装置 4、5 和 9。应当将无像差成像装置用于全息再现。以下说明校正像差的实例。第三成像装置 9 的像差作为相位误差而变得明显，该误差使波阵面偏离理想波阵面。在无编码信息的全息图中，平面波离开微 SLM8，衍射受限的波聚焦于平面 10，其中放置有第一成像装置 4 和空间频率滤波器 16—如一个孔，用以抑制不希望的衍射级并达到其他功能，例如校正像差。

[0071] 但是，像差导致上述聚焦模糊不清，从而产生空间频谱的干扰，其对再现质量有负面影响。上述相位误差可以由附加相位偏移容易地补偿。用于校正第三成像装置 9 的其他装置已结合空间频率滤波器的功能进行了说明。

[0072] 第一成像装置 4 使微 SLM8 在第二成像装置 5 的放大成像典型地易于产生像差。成像装置 4 用的放大光学系统，例如是用于目前市售的背投电视机的光学投射系统。图像分辨率是主要的标准，所以在上述光学元件中很大程度地抑制主球面像差以及彗形像差和散光像差。虽然采用上述装置的用户可以忍受剩余的失真和场曲，但是用于目前的全息图投射装置时上述像差导致十分大的偏移的再现。第一成像装置 4 的失真导致成像装置 5 上的微 SLM8 的放大成像产生横向几何偏差。第二成像装置 5 发出的波不在再现目标点的位置会聚，而是产生移位。

[0073] 将微 SLM8 在第二成像装置 5 上成像时，主要的光学误差是场曲。场曲主要意味着需要的相位值在成像装置 5 上被歪曲，其在三维失真中变得明显，也就是横向和轴向。

利用仔细设计、制造公差较小的第一成像装置 4 可以将场曲和失真以及彗形像差和散光的两种影响保持足够小；但是，这需要极大的努力并且相当昂贵。投射装置的场曲产生的相位误差最好可以由微 SLM8 补偿。上述相位误差可以由附加的相位偏移补偿。此外也可通过适当的编码减小彗形像差和散光像差。可以例如通过选择微 SLM8 的其他像素补偿失真，也就是通过使全息值在被确定为需考虑失真范围的像素的位置编码。可以以类似方式，即第一成像装置 4 中所述的方式，利用微 SLM8 补偿第二成像装置 5 的像差。离开第二成像装置 5 的波的偏移必须典型地远小于 $\lambda/10$ 。这又要求大量的努力。利用上述校正可能性，关于第二成像装置 5 的像差也可根据编码将其容易地校正。

[0074] 通常可以利用微 SLM8 减小或补偿成像装置 4、5 和 9 的所有和任何像差。在再现前以合适的方式确定像差。从而通过微 SLM8 的附加相位偏移补偿计算出的相位误差。

[0075] 该投射装置允许将小尺寸的空间光调制器用于再现和观察大的二维或三维场景。观看再现场景时，观察者可以在观察者平面 6 内自由移动。二维和三维场景可以同时出现或一个接一个地出现。此外，投射装置由市售的光学元件组成，其对制造精度的要求很低并且没有像差。首先，可以用微 SLM8 校正成像装置 4 和 5，其次，仅在大成像装置 5 的小区域需要小的波阵面失真。

[0076] 在仅有二维成像的特定情况下，如目前的电视中的应用，图像投射到成像装置 5 上或其附近。对全息图 2 进行计算，使二维场景在第二成像装置 5 的平面 12 或 23 中再现。此外，观看场景的观察者可以轴向移动通过重新计算全息图 2 提供的二维场景再现所在的平面。这意味着再现可以朝向或远离观察者移动。此外，可以放大细节使观察者能够看得更清晰。上述动作可以由各观察者自己互动完成。

[0077] 全息投射装置的可能应用包括在例如计算机显示器、电视屏幕、电子游戏的私人或工作环境中，显示信息的自动化行业中，娱乐业中，医学工程中 - 此处特别是微创外科手术应用或断层 X 射线扫描确立的信息的空间再现，以及再现表面轮廓的军事工程中进行二维和 / 或三维再现的显示器。所属技术领域的技术人员应当明白投射装置也可以用于以上未提到的其它领域。

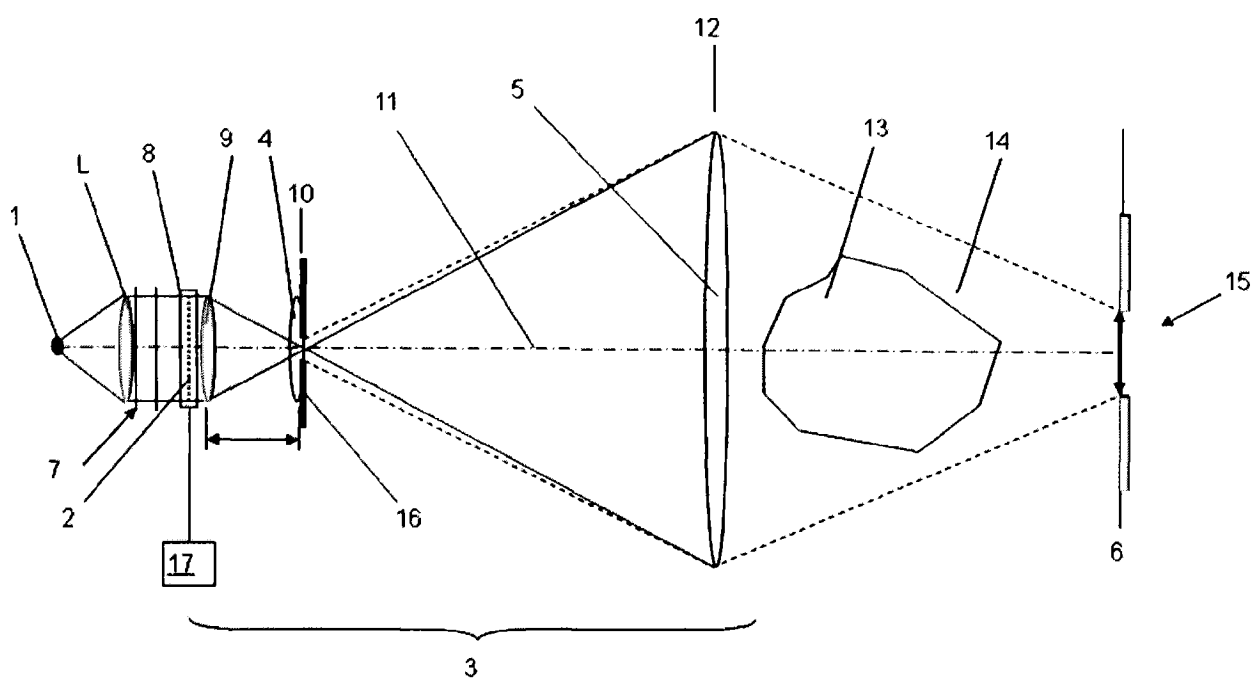


图 1

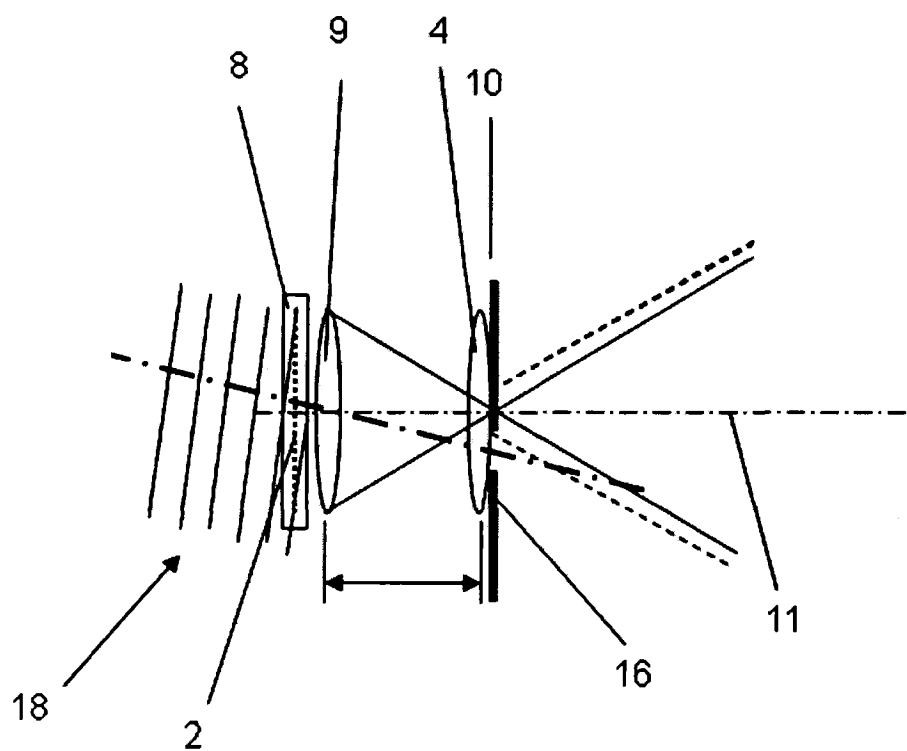


图 2

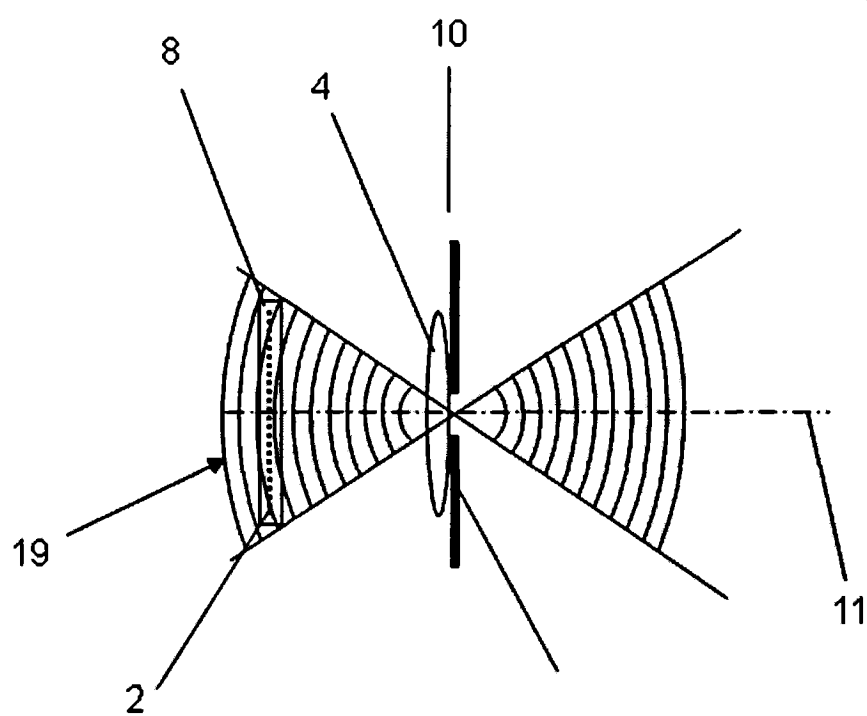


图 3

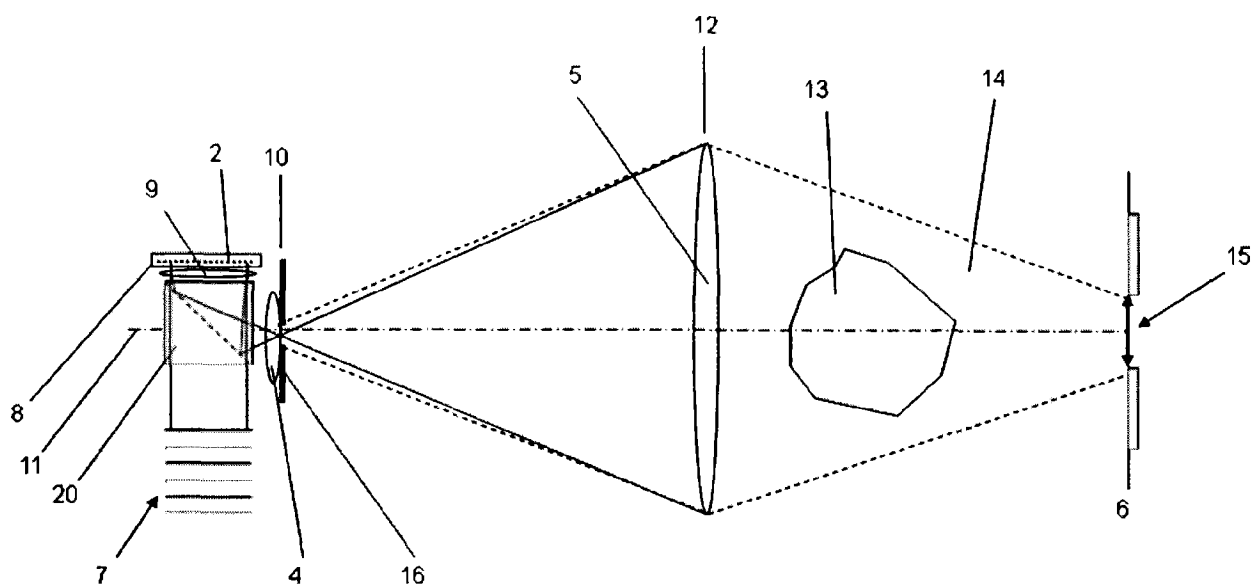


图 4

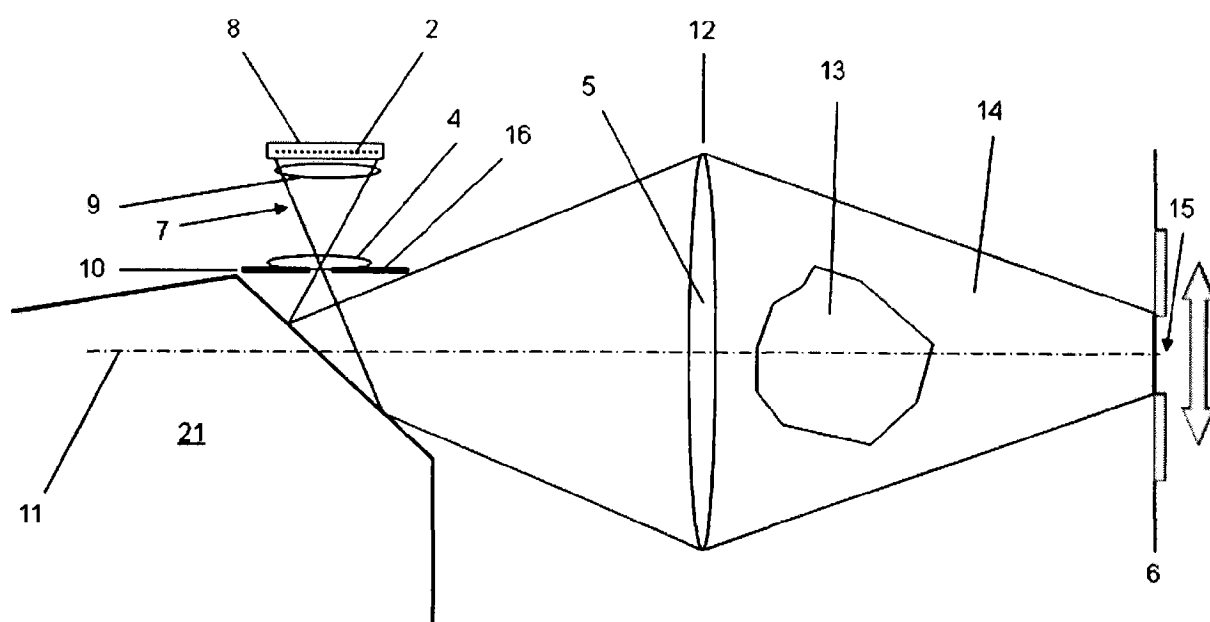


图 5

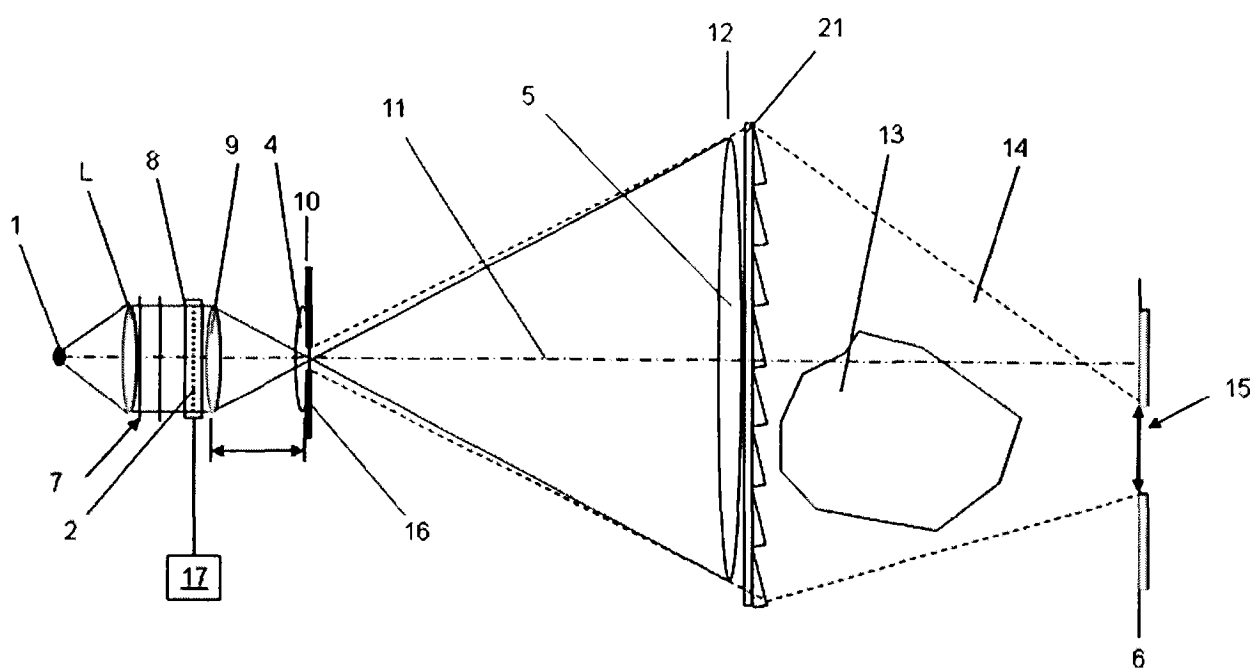


图 6

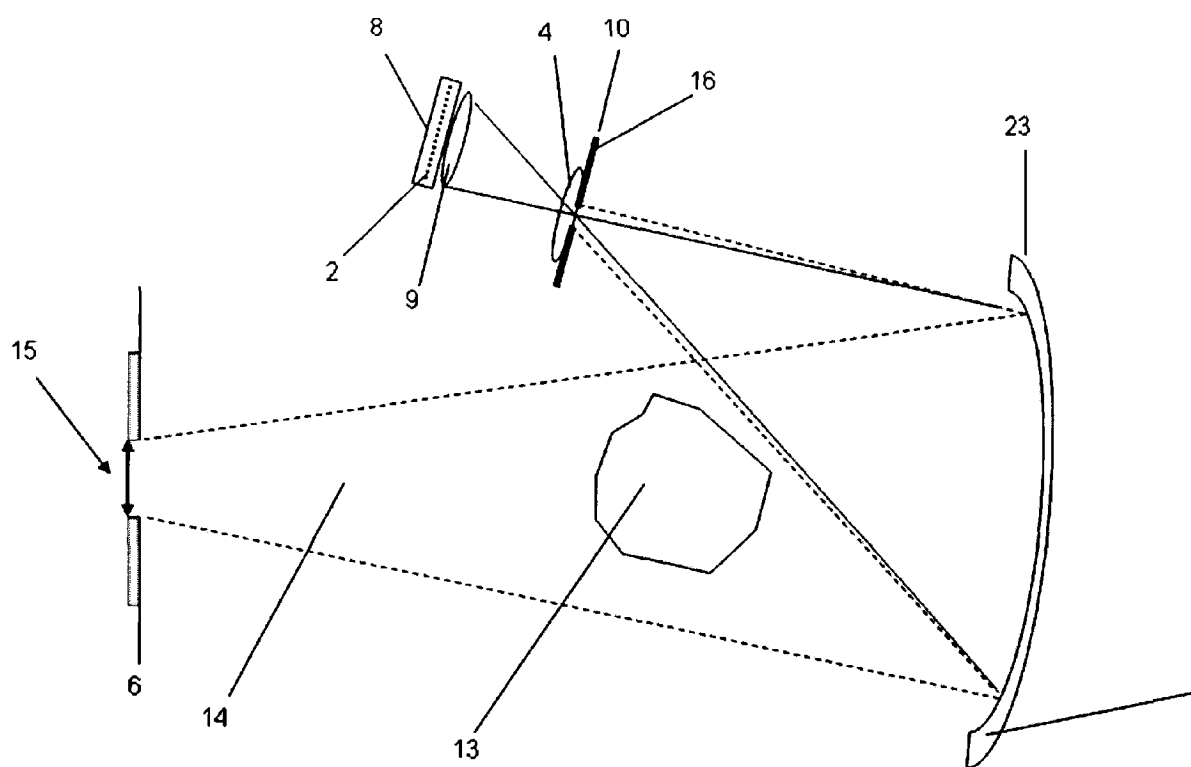


图 7

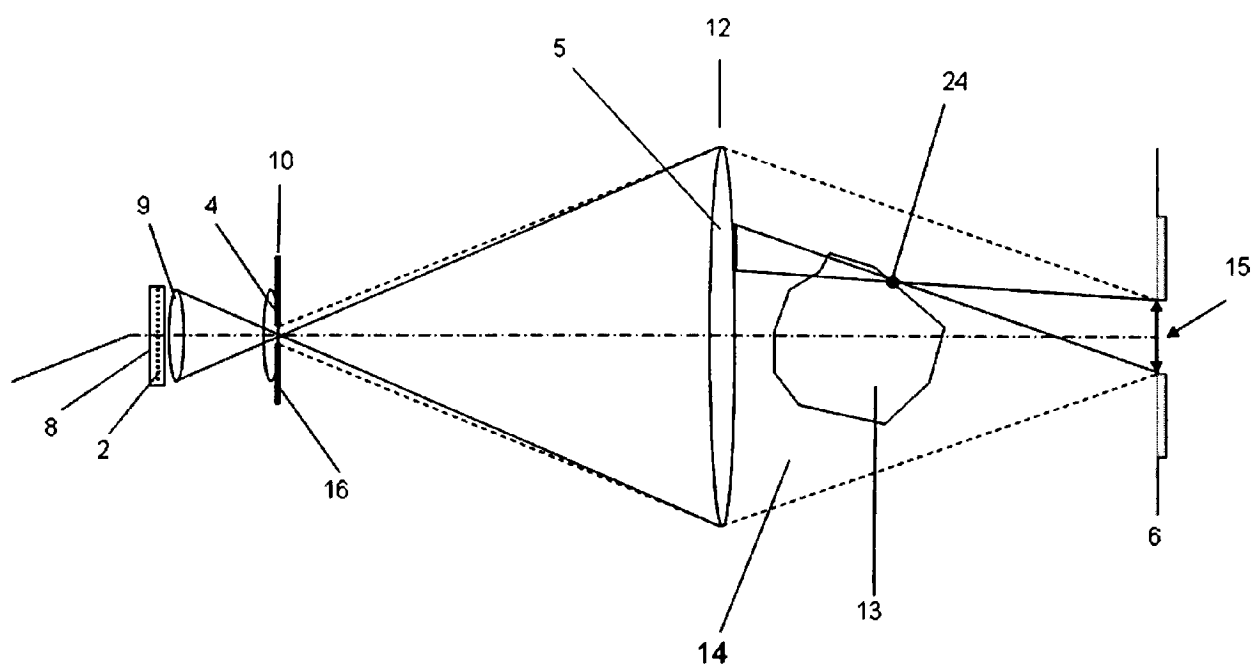


图 8