



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102640037 A

(43) 申请公布日 2012. 08. 15

(21) 申请号 201080023181. X

(22) 申请日 2010. 05. 05

(30) 优先权数据

12/469, 727 2009. 05. 21 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 11. 21

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2010/001329 2010. 05. 05

(87) PCT申请的公布数据

W02010/134951 EN 2010. 11. 25

(71) 申请人 伊斯曼柯达公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 B·D·西尔弗斯泰因 J·R·比特里

G·E·诺萨德 R·梅茨格

A·F·库尔茨

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 徐小会 王忠忠

(51) Int. Cl.

G02B 27/48(2006. 01)

H04N 9/31(2006. 01)

G02B 5/02(2006. 01)

G02B 3/00(2006. 01)

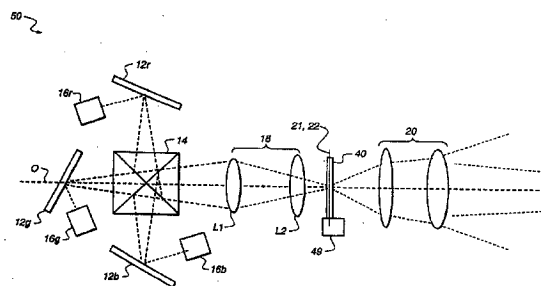
权利要求书 2 页 说明书 16 页 附图 8 页

(54) 发明名称

具有弯曲的散斑减少元件表面的光学投影系统

(57) 摘要

在包括图像形成系统(12)、中继系统(18)、散斑减少元件(40)和投影子系统(20)的相干光投影系统中,中继系统可以具有第一f数,并且投影子系统可以具有比第一f数小的第二f数。中继系统可以具有第一焦点距离(Wa),并且投影子系统可以具有小于第一焦点距离的第二焦点距离(Wb)。图像形成系统可以投影具有第一尺寸的初始图像,并且中间图像可以具有大于或等于第一尺寸的第二尺寸。散斑减少元件可以具有弯曲表面,中间图像经过该弯曲表面。散斑减少元件可以包括形成在其表面上的小透镜布置(44)。散斑减少元件可以在平行于散斑减少元件的光轴的方向上移动。



1. 一种相干光投影系统,包括:

相干光源系统,所述相干光源系统至少被构造成发射相干光;

图像形成系统,所述图像形成系统至少被构造成以与图像数据相一致的方式与所述相干光相互作用;

中继系统,所述中继系统至少被构造成根据由所述图像形成系统输出的相干光形成在中间图像平面处的中间图像,所述中间图像是空中的实际图像;

位于或基本位于所述中间图像平面处的散斑减少元件,所述散斑减少元件具有弯曲表面,所述弯曲表面构造成使所述中间图像经过所述弯曲表面;

运动生成系统,所述运动生成系统至少被构造成使所述散斑减少元件移动;以及

投影子系统,所述投影子系统至少被构造成在所述中间图像经过所述散斑减少元件时对所述中间图像进行投影。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述投影子系统被进一步构造成对胶片变形效应进行校正,并且其中所述弯曲表面至少被构造成对所述投影子系统对胶片变形效应进行的校正进行补偿。

3. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述弯曲表面是这样的表面:所述中间图像通过该表面被所述散斑减少元件接收。

4. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述弯曲表面是这样的表面:所述中间图像通过该表面离开所述散斑减少元件。

5. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述散斑减少元件的所述弯曲表面是经蚀刻或抛光的表面。

6. 根据权利要求5所述的系统,其中,所述弯曲表面包括任意或基本任意分布的表面结构。

7. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述图像形成系统包括光调制器和二向色组合器,所述二向色组合器将来自所述相干光源系统的多个颜色通道对准到公共轴线上。

8. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述运动生成系统至少被构造成导致所述散斑减少元件在平行于所述散斑减少元件的光轴的方向上的运动。

9. 根据权利要求8所述的系统,其中,平行于所述光轴的运动在所述投影子系统的焦深内。

10. 根据权利要求8所述的系统,其中,平行于所述光轴的运动在所述中继系统的焦深内。

11. 根据权利要求8所述的系统,其中,所述运动生成系统至少被进一步构造成导致所述散斑减少元件在垂直于所述散斑减少元件的光轴的方向上的运动。

12. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述散斑减少元件包括形成在所述散斑减少元件的表面上小透镜布置,所述小透镜布置包括各自具有孔的小透镜,其中所有或基本上所有小透镜孔中的每一个都大于或等于所述中间图像平面处的中间图像的像素的尺寸。

13. 根据权利要求12所述的系统,其中,所述小透镜布置包括小透镜的任意或基本任意分布。

14. 根据权利要求12所述的系统,其中,所述小透镜布置包括呈或基本呈六角形、线性、或对角线图案的小透镜。

15. 根据权利要求 12 所述的系统,其中,所述小透镜布置完全或几乎完全包括邻接的小透镜。

16. 根据权利要求 12 所述的系统,其中,所述小透镜布置完全或几乎完全包括非邻接的或稀疏分布的小透镜。

17. 根据权利要求 12 所述的系统,其中,所述运动生成系统至少被构造成使所述散斑减少元件在平面内移动大于或等于小透镜的重复周期的距离。

18. 根据权利要求 12 所述的系统,其中,所述小透镜布置至少被构造成在所述中间图像经过所述散斑减少元件时将所述中间图像的第四阶或更低阶能量传递到所述投影子系统的受光孔中。

19. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,所述图像形成系统被进一步构造成投影具有第一尺寸的初始图像,并且其中所述中间图像具有大于或等于所述第一尺寸的第二尺寸。

20. 根据权利要求 19 所述的系统,其中,所述第二尺寸与 16mm、35mm 或 70mm 的胶片格式相一致。

21. 根据权利要求 19 所述的系统,其中,所述投影子系统被进一步构造成对胶片变形效应进行校正。

22. 一种投影光的方法,包括:

由相干光源系统产生相干光;

利用图像形成系统至少通过以与图像数据相一致的方式与所述相干光相互作用来形成图像;

至少根据从所述图像形成系统输出的相干光形成在中间图像平面处的中间图像,所述中间图像是利用中继系统形成的空中实际图像;

使所述中间图像经过位于或基本位于所述中间图像平面处的散斑减少元件的弯曲表面;

在所述中间图像经过所述散斑减少元件时利用运动生成系统移动所述散斑减少元件;
以及

在所述中间图像经过所述散斑减少元件时利用投影子系统对所述中间图像进行投影。

具有弯曲的散斑减少元件表面的光学投影系统

技术领域

[0001] 本发明通常涉及一种数字图像投影,并且更具体地涉及一种提供散斑 (speckle) 补偿的相干光投影系统。

背景技术

[0002] 用于将图像投影到显示表面上的传统投影透镜被设计为具有相对较快的光学元件。对于影院投影尤其如此,其中传统的胶片投影透镜可以达到 $\sim f/1.8$ 那么快,并且在新兴的数字影院技术中,透镜通常为 $\sim f/2.5$ 。这些低 $f/\#$ 值以及相应的大角度的光在很大程度上是由于所使用的大集光率光源 (例如,各种类型的非常亮的弧光灯和类似的光源),同时又期望尽可能多地利用这种光。

[0003] 在数字影院投影中,通过像素化的空间光调制器,例如 LCD 和 LCOS 调制器、数字微镜器件 (DMD)、尤其是由德克萨斯州达拉斯市的德州仪器公司提供的 DLP (数字光处理器) 来提供图像内容。以像素寻址的方式来调制 (modulate) 这些电子光调制装置的各个像素,以将图像数据赋予经过的光束。为了实现影院投影,使用具有 $\sim 400\text{--}600\text{mm}^2$ 的有效面积的大型 (large version) 装置,以在与用于影院投影的大集光率氙气灯光源使用时这些装置能够兼容并且光学高效。然而,我们已经确定:这些大集光率光源以各种不利的方式影响投影仪的设计,包括光学部件的尺寸和成本、对这些部件的热载荷和应力,以及由光学元件提供的光学成像性能和图像质量。例如,传输大角度光入射的空间光调制器装置及其相关的偏振光学元件将不利地影响投影图像的质量,具有峰值对比度和对比度一致性缺陷。

[0004] 更详细地,数字投影系统的照明和投影子系统通常比其在传统的基于胶片的系统中的等效装置更复杂。特别地,在数字系统中,相比于传统投影光学元件,投影透镜系统通常担负不同的附加要求。作为一个示例,用于数字系统的投影透镜一般需要提供长的后焦距或焦点距离,即,最后的透镜表面与空间光调制器之间的距离。在大多数情况下,需要焦点距离超过透镜焦距的 2 倍,以容纳用来将来自不同颜色路径的经调制的光组合到公共光轴上的多个光学部件,并且根据所使用的空间光调制器的类型来提供光的偏振、滤光以及其他调节和引导。结合在一起,如光学设计领域技术人员所熟知的,长的后焦距与速度要求 (低 $F\#$) 组合起来促使了使用大的元件的复杂透镜设计。结果,用于大会场或数字影院投影系统的投影透镜非常昂贵,特别是当与诸如在基于胶片的投影仪中使用的传统投影透镜相比时。

[0005] 作为减小该问题的程度的一种尝试,如在共同转让给 Cobb 的题为“使用空间光调制器的投影装置 (Projection Apparatus Using Spatial Light Modulator)”的美国专利 No. 6,808,269 中描述的系统使用成像中继 (relay) 透镜。通过中继透镜对每个调制器进行成像,以在组合棱镜的出射面附近创建实际的空中放大的中间图像。调制器平面处的大数值孔径 (NA) 减小,例如减小一半,从而使 $F\#$ 相应地增大一倍。通过棱镜组合三色图像,然后通过公共投影透镜将该三色图像成像到屏幕上。尽管具有三个成像中继器的整个系统的复杂性增加了,但投影透镜的简化大大弥补了复杂性和成本的增大,其中投影透镜以较大的 $F\#$ 工作,没有焦点距离要求。

[0006] 作为另一种方法,相比于传统光源,具有有利的小集光率的可见激光的使用提出了提供简化的系统光学元件的机会,例如通过使投影透镜能够具有与用于基于胶片的投影的透镜相似等级的适度复杂性。近年来,可见激光光源在成本、复杂性和性能方面得到了改进,从而对于在包括用于影院的投影中使用变得更可行。激光可以为图像投影提供大量优点,包括扩展的色域,但其较小的集光率对于基于 LCD、DLP 和其他类型的光调制器以及更小、更慢和更便宜的透镜元件的数字系统是特别有利的,其中可以使用在 $f/8$ 范围内或更慢的值,同时仍为影院应用以及其他投影应用提供具有足够可见光通量的光。应当注意,激光还使得其他调制器类型(例如光栅机电(GEMS)调制器)能够用于投影,该光栅机电调制器是利用衍射来生成图像数据的线性阵列器件,且其需要小集光率。

[0007] 激光为投影系统提供很多潜在的实质优点,包括大大扩展的色域、可能的长寿命源、以及简化的光学设计。然而,激光也引入了散斑,该散斑由于来自显示屏的散射表面的局部反射的相干干涉而出现。散斑是使图像质量严重变差的高对比度颗粒噪声源。在成像技术中已知可以以多种方式来减少散斑,例如,通过叠加多个不相关的散斑图案,或者通过使用频率或偏振的变化。在 Joseph W. Goodman 的“光学中的散斑现象:理论和应用(Speckle Phenomena in Optics:Theory and Applications)”中公开了这些方法中的很多种。作为有关于投影的散斑减少方法的一个示例,利用通常沿着围绕光轴的小圆或椭圆的振荡运动来快速地移动显示屏。散斑随着显示屏移动而变化,这是因为通过屏幕运动而改变了激光与散射特征的局部相互作用。当该振荡运动足够快时,通过时空平均化减小了散斑的可见性,并且散斑能够变得使观察者察觉不到。散斑减少的另一策略是将光漫射器布置在位于投影仪内的中间图像平面处并且在投影透镜之前。然后,漫射器的振荡具有减小观察者对散斑的察觉能力的效果。

[0008] 多种光漫射器已经被用于激光投影的散斑减少,包括基于磨砂玻璃、体积、全息摄像以及小透镜的装置。作为一个示例,在 Trisnadi 的题为“用于减少激光散斑的方法、装置和漫射器(Method, Apparatus, and Diffuser for Reducing Laser Speckle)”的美国专利 No. 6,747,781 中公开的装置中,使用图案化为哈达玛矩阵的漫射器,与衍射线性阵列调制器(GLV)一起为经调制的光的扫描线的中间图像提供时间相位变化。这种漫射器由漫射相位单元的阵列构成,每个这种漫射相位单元均被再次划分为 N 个单元部分,这些单元部分的图案通过哈达玛矩阵计算来确定。示例性的单元可以是 $24\mu\text{m}$ 的正方形,并且可以包括是 $3\mu\text{m}$ 的正方形的 $N=64$ 个单元部分。这些单元部分或者是基底表面的区域,或者是高度为 π 的隆起的平顶山状区域。如果单元图案化和漫射器运动提供的时间相位变化是适当的,则在传输的激光束中的相位变化被去相关,从而能够实现散斑减少。然后,需要特别设计的投影和扫描光学元件以将每条调节过的光线投影到显示屏上。一般地,用于这种线扫描装置的投影透镜具有 2.5 的 $f/\#$ 。虽然 Trisnadi 提供了投影的散斑的有效减少,但散斑减少仅是激光投影系统设计的一个方面。通过位于内部中间图像平面处的运动漫射器(即,然后被成像到屏幕上)提供的散斑减少引入了各种进一步的问题,这些问题包括图像质量(分辨率或 MTF)降低,由漫射(散射或衍射)导致的光损失,以及需要更快的成像光学元件来收集漫射光。

[0009] 尽管存在诸如这些的多种散斑减少技术,但在本领域还存在对改进技术的持续需求,其减小对投影图像的散斑察觉能力,同时还能改进激光投影系统的设计和系统性能。

发明内容

[0010] 在本领域通过根据本发明的各种实施例的用于相干光投影的系统和方法解决了上述问题并实现了技术方案。在本发明的实施例中，相干光源系统发射相干光。图像形成系统以与图像数据一致的方式与相干光相互作用。中继系统根据从图像形成系统输出的相干光形成在中间图像平面处的中间图像。中间图像为空中的实际图像。散斑减少元件位于或基本位于中间图像平面。运动生成系统使散斑减少元件移动，并且投影子系统在中间图像经过或穿过散斑减少元件时投影中间图像。

[0011] 在本发明的一些实施例中，中继系统具有第一 f 数，并且投影子系统具有比第一 f 数少的第二 f 数。在这些实施例的一些实施例中，第二 f 数为第一 f 数的至少一半。例如，第一 f 数可以是 $f/6$ 或更大，并且第二 f 数可以是 $f/3$ 或更小。

[0012] 在本发明的一些实施例中，中继系统具有第一焦点距离，并且投影子系统具有比第一焦点距离小的第二焦点距离。在这些实施例的一些实施例中，第二焦点距离为第一焦点距离的至少一半。例如，第一焦点距离可以是 100mm 或更大，并且第二焦点距离可以是 50mm 或更小。

[0013] 在本发明的一些实施例中，图像形成系统投影具有第一尺寸的初始图像，并且中间图像在中间图像平面处具有大于或等于第一尺寸的第二尺寸。在这些实施例的一些实施例中，第二尺寸与 16mm、35mm、或 70mm 的胶片格式一致。此外，在这些实施例的一些实施例中，投影子系统对胶片变形效应进行校正。

[0014] 在本发明的一些实施例中，散斑减少元件具有弯曲表面，中间图像可以经过该弯曲表面。在这些实施例的一些实施例中，投影子系统对胶片变形效应进行校正，并且弯曲表面对投影子系统对胶片变形效应进行的校正进行补偿。该弯曲表面可以是这样的表面：中间图像通过该表面被散斑减少元件接收，或者中间图像通过该表面离开散斑减少元件。散斑减少元件的弯曲表面可以是经蚀刻或抛光的表面，并且可以包括任意或基本任意分布的表面结构，例如小透镜。

[0015] 在本发明的一些实施例中，散斑减少元件包括形成在散斑减少元件的表面上的小透镜布置，该小透镜布置包括小透镜，其中每一个小透镜均具有孔。所有或几乎所有小透镜孔中的每一个均大于或等于中间图像平面处的中间图像的像素的尺寸。小透镜布置可以具有小透镜的任意或基本任意的分布。透镜可以呈或基本呈六边形、线性、或对角线图案。并且，小透镜可以是邻接的或非邻接的。如果它们不邻接，则小透镜之间的间隔可以足够大或基本足够大，以允许来自该间隔的漫射进入投影透镜的受光孔中。小透镜之间的间隔可以大于或等于中间图像平面处的中间图像的像素的尺寸。在一些实施例中，运动生成系统使散斑减少元件在平面内移动大于或等于小透镜的重复周期的距离。在一些实施例中，投影子系统内的透镜的受光孔捕捉由小透镜之间的间隔或者邻接的小透镜之间的凹谷所导致的漫射。在一些实施例中，投影子系统内的透镜的受光孔捕捉散斑减少的图像的第四阶或更低的能量。在一些实施例中，小透镜布置将散斑减少的图像的第四阶或更低的能量传递到投影子系统的受光孔中。

[0016] 在本发明的一些实施例中，运动生成系统导致散斑减少元件在平行于散斑减少元件的光轴的方向上的运动。在这些实施例的一些实施例中，运动在投影子系统的焦深内。此

外,在这些实施例的一些实施例中,运动在中继系统的焦深内。运动还可以包括在垂直于散斑减少元件的光轴的方向上的运动。

[0017] 本发明的各种实施例特别适用于诸如 DLP 装置的空间光调制器,所述调制器调制来自激光器或具有相干性的高亮度光源的光。本发明的各种实施例提供了一种光学系统,其允许使用传统类型的投影透镜元件,并利用了可用激光获得的高亮度。

[0018] 根据下面对优选实施例的详细描述和所附权利要求的回顾并参考附图,可以更清楚地理解和了解本发明的这些和其他方面、目的、特征和优点。

附图说明

[0019] 通过以下结合附图考虑的对示例性实施例的更详细的描述将更容易理解本发明,其中:

[0020] 图 1 是示出了在本发明的实施例中的一些普通部件的图;

[0021] 图 2 是示出了用于具有减少的散斑的数字图像投影的本发明实施例的设备的图;

[0022] 图 3 是示出了具有近似的 $f\#$ 与受光孔 (acceptance aperture) 的关系的本发明实施例的设备的图;

[0023] 图 4 是示出了具有弯曲表面的散斑减少元件的本发明实施例的设备的图;

[0024] 图 5a 和图 5b 分别示出了包括中间图像和漫射图像的内部系统图像;

[0025] 图 5c 示出了如在传统基于胶片的投影系统中出现的胶片变形 (film buckle) 和胶片成像;

[0026] 图 6a 是使用稀疏分布的微透镜的散斑减少元件的实施例的图;以及

[0027] 图 6b 示出了根据本发明的实施例将散斑减少元件用于增大通过投影透镜成像的角分集。

具体实施方式

[0028] 对于以下详细说明,应当理解,没有具体示出或描述的元件可以是本领域技术人员已知的各种形式。文中示出和描述的附图被提供用来根据本发明的实施例示出操作原理和部件沿其相应的光学路径的关系,并且可能没有示出实际大小或尺寸。一些放大可能是必要的,以强调基本结构关系或操作原理。在一些情况下,没有示出通常位于投影设备的光学路径中的部件,以便更清楚地描述投影光学元件的操作。

[0029] 本发明包含文中描述的实施例的组合。对特定实施例等的参照是指在本发明的至少一个实施例中存在的特征。“实施例”或“特定实施例”等的单独参照未必一定指的是相同的一个或多个实施例;然而,这种实施例不是互斥的,除非进行了这样的说明或者对本领域技术人员是显而易见的。在涉及“方法”或“多个方法”等时所使用的单数和/或复数不是限制性的。

[0030] 如在本公开内容中使用的术语“ f 数”或 $f/\#$ 具有其传统的含义,即:焦距与受光孔直径之比。此外,除非文中明确指出或如上下文所要求,否则词语“或”以非排他的含义用于本公开内容中。

[0031] 图 1 示出了在本发明的各个实施例中使用的几个普通相干光投影系统部件中的简化示意图。后面的视图和后续的描述引入了添加到图 1 所示的普通部件的附加部件。在

这方面,图 1 示出了具有发射高度相干的光的相干光源系统的相干光投影系统 10。在图 1 的情况下,相干光系统包括相干光源 16r、16g 和 16b,分别用于红色通道、绿色通道和蓝色通道中的每一个。然而,可以使用其他颜色通道。同样在图 1 的情况下,相干光源 16r、16g 和 16b 为激光光源,例如直接发射式二极管激光阵列、光纤激光器、或 IP 泵浦的谐振变换激光器。然而,可以使用具有足够亮度和光束质量的任何相关或局部相干的光源。例如,可以使用可见光波长超辐射发光二极管 (SLED)。

[0032] 从相干光源 16r、16g、16b 发射的光被图像形成系统接收,在图 1 的情况下,该图像形成系统包括空间光调制器 12r、12g、12b(例如,DLP(数字微镜)器件)和组合元件(例如,二向色组合器 14)。每个光调制器 12r、12g、12b 分别位于投影系统的对象平面 5r、5g、5b 处;在这种情况下,投影系统为投影子系统 20 的成像透镜 20a。此外,每个空间光调制器 12r、12g、12b 与显示表面 30 处的显示图像平面 7 是图像共轭的,其中屏幕可以设置在显示表面 30 处。该布置可用于 LCD 或其他类型的光调制器。

[0033] 在相干光投影系统 10 的操作期间,光调制器 12r、12g、12b 以与图像数据(例如,表示电影中的图像帧的图像数据)一致的方式与从光源 16r、16g、16b 发射的相干光相互作用。在这方面,通过诸如控制系统的数据处理系统(未示出)将控制信号提供给光调制器 12r、12g、12b,该数据处理系统使用本领域已知的技术和设备以与图像数据一致的方式控制光调制器 12r、12g、12b。特别地,光调制器 12 包括根据图像数据信号来调制入射光的可寻址调制器像素(未示出)的二维阵列。可以通过多种方式来提供光调制,包括:通过使微镜(DLP)倾斜而重新定向、偏振旋转(LCOS 或 LCD)、光散射、吸收、或衍射。

[0034] 来自光调制器 12r、12g、12b 的调制光在二向色组合器 14 处被组合到相同的光学路径、轴线 0 上。被组合器 14 组合的光最终到达投影子系统 20,在这种情况下,该投影子系统 20 包括用于将图像内容的图像投影到显示表面 30 上的示例性透镜对 20a、20b。

[0035] 通过考虑图 1 的简化示意图能够更好地理解光学系统设计者所面临的一些问题。在系统 10 中,由于来自多个光调制器 12r、12g、12b 的光在被投影子系统 20 投影到显示表面 30 之前经由组合器 14 被组合,因此需要长的焦点距离。此外,使投影子系统 20 在对象空间内以大 $f\#$ (例如, $f/6$ 或更高)工作是有利的,从而以更容易且更低廉的方式实现了长焦点距离。此外,通过不捕捉大角度的光,投影子系统 20 将不会获取很多可能从附近的表面结构散射的许多不期望的杂散光。例如,诸如 MEMS 器件的部件(例如,DLP 调制器)、透镜元件边缘和缺陷、以及其他结构能够在成像系统内散射光。该散射光或闪耀光能够穿过透镜到达屏幕,并可以减小宽区域图像对比度(ANSI 对比度)以及局部或图像细节对比度两者,从而影响明显的屏幕黑度和可分辨的细节。另一方面,为了减少来自相干源投影子系统 20 的散斑可见性,优选将会聚光传输到具有大角度宽度(大数值孔径(“NA”))的显示表面 30。然而,假设来自投影子系统 20 的恒定放大率,意味着光在调制器侧上的角度宽度也很大,例如,具有低 $f\#$ (例如, $f/3$ 或更低)。因此,减小潜在散斑可见性的期望与降低透镜的复杂性和成本以及使内部散射光的收集最小化的需要相冲突。

[0036] 图 2 的示意性框图示出了根据本发明的实施例的相干光投影系统 50,其改变了图 1 的基本设计,以减少散斑可见性。特别地,穿过组合器 14 的光被引导通过中继系统,在这种情况下,为中继透镜 18。包括至少一个中继透镜元件 L1 的中继透镜 18 被定位成使每个光调制器 12r、12g 和 12b 成为与形成在中间图像平面 21 处的中间图像 22 图像共轭的对

象。中间图像 22 是由中继系统（即，中继透镜 L1）和中间图像平面 21 处的其他上游光学元件形成的空中实际图像。如果屏幕或其他显示结构被布置在相应的图像平面处（在这种情况下，为中间图像平面 21），则空中实际图像为能够看到的位于空间内的图像。在这种情况下，图 5a 中示出的空中中间图像 22 包括是调制器像素的像素图像的中间图像像素 23 的阵列。特别地，中间图像像素 23 包括来自红色调制器、绿色调制器和蓝色调制器（12r、12g、12b）的相应像素图像的重叠且对准的图像。优选地，相应的被成像的调制器像素在中间图像平面 21 处的整个中间图像 22 范围内被共同对准到 $1/4$ 像素误差或更好的像素误差内。中间图像平面 21 位于或基本位于散斑减少系统内，在这种情况下，该散斑减少系统包括散斑减少元件 40 和用于移动散斑减少元件 40 的运动生成系统，在这种情况下，该运动生成系统为致动器 49。中间图像 22 在经过或穿过散斑减少元件 40 时通过投影子系统 20 被投影。中继透镜 18 具有大约 150mm 的相对较长的焦点距离 W_a （参见图 3），并且是大约 $f/6$ 的相对较慢的透镜。在一些实施例中，中继透镜 18 在面对光调制器 12 的一侧是远心的。

[0037] 图 3 示出了中继透镜 18 具有比投影子系统 20 的 $f\#$ （即，图 3 中的第二 $f\#24$ ）大（例如为其大约两倍大）的 $f\#$ （即，图 3 中的第一 $f\#19$ ）的实施例。换句话说，中继透镜 18 的出射角大约是投影子系统 20 的接收角（acceptance angle）的一半。在本发明的一些实施例中，中继透镜 18 具有 $f/6$ 或更大的 f 数，并且投影子系统 20 具有 $f/3$ 或更小的 f 数。如前面提到的，中继透镜 18 可以具有长的焦点距离 W_a ，该焦点距离是容纳组合自不同成像通道的光束所需的。可替代地，投影子系统 20 具有第二焦点距离 W_b ，第二焦点距离 W_b 可以比第一焦点距离 W_a 小得多。虽然投影子系统 20 需要容纳散斑减少系统的光学元件（例如，散斑减少元件 40），并且或许还需要容纳场镜，但与容纳组合器 14 相比，所需的空間小得多。在一些实施例中，第一焦点距离为 150mm 或更大，并且第二焦点距离为 50mm 或更小。由于投影子系统 20 在光学方面更快，但其可以具有较短的焦点距离，因此与对于当前数字影院投影透镜常见的即快且需要长焦点距离的透镜相比，其更容易设计和制造。

[0038] 同样地，中继透镜 18 的设计是有利的，因为其以小的放大率（ $1\times$ - $2\times$ ）工作。虽然中继透镜 18 仍提供长焦点距离 W_a ，但该透镜比传统数字影院投影透镜在光学上慢，因此中继透镜 18 在制造和设计方面也更便宜。此外，由于光学组合器 14 此时处于光学路径的相对较慢的部分中，因此其中的光学涂层设计和制造的难度要低得多，这是因为其仅需要在较小角度范围内进行组合。在 MEM 空间光调制器——其基于输入光与输出光之间的角度差来区别输入光和输出光——的情况下，提高了对比率。这些 f 数与焦点距离的关系优化了有效成像性能，以通过增大下面论述的角分集来提供低成本的光学设计简单化、更简单的光学涂层、以及具有高对比率的高图像质量参数和散斑减少。

[0039] 返回到图 3，中继透镜 18 引导其光锥，以在散斑减少系统附近的中间图像平面 21 处形成中间图像 22，在这种情况下，该散斑减少系统包括通过致动器 49 移动的散斑减少元件 40。散斑减少元件 40 以通过在时间上改变反射与显示表面 30 的相干干涉来减少投影图像中的散斑可见性的方式（例如，通过相位改变和 / 或角度改变）来改变中间图像 22 或来自于中间图像 22 的光传播。

[0040] 运动生成系统（例如，图 4 中所示的致动器 49）可以是散斑减少系统的一部分。运动生成系统在中间图像经过散斑减少元件 40 时为散斑减少元件 40 提供振动、旋转或者其他重复或随机的运动，以减少散斑。

[0041] 在一个实施例中,散斑减少元件 40 是光漫射器,例如,体积或表面浮凸漫射器(例如,全息摄像漫射器)。在这些情况下,运动生成系统包括本领域已知的使漫射器在平面内来回移动,或者在漫射器的平面内旋转地运动的致动器 49,使得漫射器保持在中间图像平面 21 处或其附近。换句话说,“平面运动”指的是例如在垂直于散斑减少元件 40 的光轴(在图 2 的示例中为轴线 0)的方向上的运动。

[0042] 已知当漫射器被用作散斑减少元件 40 时,其改变与形成漫射图像像素 23' 的每个中间图像像素 23 相关联的图像光的任意相位,如图 5b 所示。由该配置中的运动生成系统导致的实际散斑减少取决于几个因素,这些因素包括:漫射器特征(或结构)的属性(尺寸、形状和分布)、漫射器运动特性(速率和范围)、显示表面 30 上的投影透镜分辨元素(图像像素)的数量、以及屏幕(显示表面 30)上的散射特征的特性。由于通过散斑减少元件(漫射器)40 的运动改变了与中间图像像素相关联的图像光的相位结构,因此到达显示表面 30 的入射相位和位置也稍微改变,从而改变了与显示表面微结构的相互作用以及反射光中的散斑干涉。观看者的有效眼睛分辨率(由观看者离屏幕的距离以及观看者的个人视力(例如,20-20)来确定)也影响散斑可见性。散斑可见性随着漫射器特征和显示表面 30 上的图像像素的数量增加而减小,但其最终限制在非零的值。

[0043] 应当注意,虽然光漫射器可用于散斑减少元件 40,但其也以多种方式影响通过系统 50 的光传播。作为一个示例,漫射器在中间图像平面 21 处或其附近的布置实质上限定了系统 50 内的新对象,即图 5b 中示出了漫射图像 22',这是因为光的角度范围(或 NA)增大了。角度范围的改变可以被建模成光漫射轮廓和入射光分布(中继透镜 F#(19))的卷积。当然,投影透镜需要容纳的有效集光率同样增大。作为第二效果,由于漫射器特征和漫射器运动引入了模糊和对比度损失,所以中间图像平面 21 处的中间图像像素 23 的有效尺寸增大,从而产生了漫射图像像素 23'。当通过投影子系统 50 将具有其漫射图像像素 23' 的该新图像对象(漫射图像 22')成像到显示表面 30 上时,投影图像质量,在分辨率(或 MTF)方面降低了。

[0044] 再次参照图 2,中继透镜 18 包括至少一个中继透镜元件 L1,并且其可以包括可选的场镜 L2,场镜 L2 沿光轴 Q 设置在散斑减少元件 40 附近,在其与散斑减少元件 40 之间没有中间透镜。在图 2 的情况下,场镜 L2 位于散斑减少元件 40 与中继透镜元件 L1 之间,并且以使来自产生的漫射图像 22' 的漫射图像光进入投影子系统 20 的受光孔的方式促进了中间图像 22 向散斑减少元件 40 中的引导。在其他实施例中,场镜 L2 可以位于散斑减少元件 40 的下游,而仍然位于投影子系统 20 之前。来自散斑减少元件 40 的输出是相位改变了的图像,该图像被投影子系统 20 投影到显示表面 30(图 2 中未示出)上。

[0045] 虽然中间图像平面 21 处的中间图像 22 的图像尺寸可以等于、小于、或大于光调制器 12 的面积,但在很多情况下,理想的是图像面积等于或大于调制器 12 的面积,这是因为可以减小由投影透镜 50 收集的 NA。在这方面,图像形成系统(例如,光调制器 12r、12b、12g 和组合器 14)可以将组合的初始图像朝中继系统(例如,中继透镜 18)投影,其中该初始图像具有对应于光调制器的尺寸的第一尺寸。然后,该中继系统(例如,中继透镜 18)可以形成具有大于或等于第一尺寸的第二尺寸的中间图像 22。

[0046] 在本发明的一些实施例中,第二尺寸,即,中间图像平面 21 处的中间图像 22 的尺寸可以被中继系统(例如,中继透镜 18)放大,以与诸如 16mm、35mm、或 70mm 胶片格式的

电影胶片尺寸相一致。对于 16mm、35mm 和 70mm 的胶片格式,这些电影胶片尺寸分别具有 13.73mm、25.81mm 和 52.80mm 的对角线。使中间图像 22 处在这些电影胶片尺寸允许了将传统的胶片投影透镜(例如,设计并用于传统的 16mm、35mm、或 70mm 胶片投影仪的透镜)使用在投影子系统 20 中,从而降低了成本并简化了设计。

[0047] 特别地,基于胶片的投影透镜,例如德国的 Schneider Kreuznach 销售的透镜,以从 24 至 100mm 的约 30 个不同焦距的范围提供,以适应电影产业中存在的各种屏幕距离和对角线。这些各种类型的透镜使得影院操作人员能够选择对于他们的特定会场的最佳解决方案。诸如可变定焦镜头的一些透镜也设计成处理 1 : 1.37 至 1 : 1.85 的不同胶片格式比,而其他透镜使用失真光学元件来传输 1 : 2.39 格式的宽格式立体声宽银幕电影内容。这种宽阔的可用性和格式的灵活性提供了优于传统的数字影院透镜的显著优点,传统的数字影院透镜更昂贵且更具限制性。Schneider 仅为数字影院提供了十二个固定镜头。或许,更显著地,这些普通胶片投影透镜的 f 值通常在 $f/1.7$ 至 $f/2.8$ 之间的范围内。与普通漫射器的更常见的随机相位移动 (phase walk) 相比,这种较低的 f 数范围特别适于通过使用时间上均匀化的角分集来减小来自相干光源的散斑。然而,这些透镜仅具有在 30-57mm 范围内的后向 (back) 焦点距离,该焦点距离可能太小而不能适应诸如由三种颜色组合的光束的数字投影仪特性。在使用传统的胶片投影透镜时,还增大了改变格式尺寸的可用性和方便程度。普通失真透镜还能够用来切换到像用于特别宽的视景的范围一样的格式。

[0048] 将传统胶片投影透镜用于数字影院应用中的一个考虑是,较高质量的传统胶片投影透镜中的很多被设计为补偿胶片曲率或“变形”,如图 5C 所示。当胶片 60 的图像区域被照亮时,胶片感光乳剂根据图像内容吸收光。生成的热使胶片(其为弹性聚合物片材料)向平面外变形或弯曲一定距离“ d ”。这种效应由图像区域通过孔板 62 相对于为声轨、穿孔和组帧栏 (framing bar) 提供的周围未照亮区域的不均匀照射和不均匀加热复合而成。被照亮区域膨胀,而固定区域不膨胀,迫使成像区域在光轴方向上移动,从而引入 $d \sim 150-400 \mu m$ 一样多的胶片表面曲率,朝照明源变形。因此,相对于投影透镜 20,胶片 60 此时为成像到屏幕 30 上的弯曲对象。

[0049] 最便宜的胶片投影透镜通常被设计成用于平的图像平面,因此导致被成像区域的外部边缘上的散焦(假设放映员将焦点设置在图像中心)。如果这些透镜的性能特性是适当的,则理想的是将这些透镜与数字空间光调制器 12 一起使用,其中,在投影期间图像平面保持平坦。另一方面,提供最佳投影图像质量的较贵的胶片投影透镜 20 也设计成对在 $a \sim 1$ 英寸宽的区域上具有 $d \sim 100-200 \mu m$ 胶片变形深度的凹陷的弯曲对象(胶片 60)进行最佳的成像,以补偿胶片变形效果,例如,由于照明系统加热而导致的胶片平面偏差。

[0050] 关于用于数字投影的本发明,可以以若干种方式来适应如胶片类型投影透镜所预期的那样的成像平面(平坦)光调制器 12 和与弯曲对象平面共同对准的中间图像平面 21 的不太可能的组合。参照图 2,与投影子系统 20 相比,中继透镜 18 相对较慢。在中继透镜 L1 的情况下,由于透镜 L1 的焦深较大,因此对于 $100-200 \mu m$ 的小图像平面凹陷的校正不那么重要。在图 5a 中示出了焦深 (DOF),并且其被定义为:

[0051]

$$DOF = \pm \frac{\Phi}{2 * \tan \left(\arcsin \left(\frac{1}{2 * f\#} \right) \right)}$$

[0052] 其中, Φ = 模糊圈直径。为了可分辨, 呈现到中间图像平面 21 的中间图像像素 23 的尺寸可以几乎等于 (如果不大于的话) 模糊圈直径。例如, 如果空间光调制器 12 包括以 1.2 倍的放大率成像到中间图像平面 21 的 $10 \mu\text{m}$ 像素的阵列, 那么生成的 $12 \mu\text{m}$ 的中间图像像素尺寸上可与模糊圈直径 (Φ) 相当, 或是其 2-3 倍大。

[0053] 焦深是在 z 方向上的模糊点的尺寸增长被认为是可允许的的一定限定量的距离。衍射、像差、或散焦、或其组合, 以变化的量, 可以导致点模糊。例如, Rayleigh 的四分之一波标准是在成像系统中使用的通用度量。使用上述公式, 并假定 $f/6$ 中继透镜 18, 则在中间图像平面 21 处的焦深可以是大约 $120 \mu\text{m}$, 其处于标准胶片投影透镜曲率的数量级。因此, 在这种情况下, 中继透镜 18 在焦深内粗略地适应图像平面曲率, 而无需明显的校正。名义上, 中继透镜 18 沿光轴 0 轴向地定位, 使得由中继透镜 18 提供的最佳质量图像位置 (最佳 MTF) 与投影透镜 20 的最佳对象共轭平面位置基本重叠。中继透镜 18 还可以被设计成将调制器 12 的具有适当的曲率的弯曲图像呈现给胶片类型的投影透镜 20。

[0054] 另一方面, 由于这些投影透镜的焦深 (DOF) 相对较小, 因此被设计成最佳地成像弯曲对象的投影透镜 20 与平面的中间图像之间的失配不能简单地留待不校正。例如, 使用 $12 \mu\text{m}$ 的中间图像像素尺寸和 $f/1.7$ 的投影子系统 20, 焦深仅为大约 $36 \mu\text{m}$ 。该小焦深证明了使胶片类型投影透镜 20 的最佳成像弯曲平面与中间图像 22 和散斑减少元件 40 的表面相匹配的需要。

[0055] 在图 4 中示出的一个实施例中, 散斑减少元件 40 具有弯曲表面 43, 通过该弯曲表面 43 来接收中间图像 22。在其他实施例中 (未示出), 散斑减少元件 40 具有弯曲表面, 漫射图像 22' 或中间图像 22 通过该弯曲表面离开, 从而被投影透镜 20 成像。在任一种情况下, 曲率都可以是外凸的或内凹的。无论如何, 弯曲表面具有与对这些商业可用胶片类型的投影透镜校正的胶片变形曲率匹配或基本匹配的曲率。表面结构可以以任意图案或有序的图案被设置在弯曲表面 43 上。在一个实施例中, 在普通曲率的顶部上形成小透镜。在替代性的实施例中, 通过蚀刻、抛光或成型, 表面结构可以具有相位深度。在使用蚀刻或抛光工艺来制造散斑减少元件 40 的弯曲表面 43 的情况下, 装置制造可以相对简单。通过比较发现, 难以制造平版印刷的弯曲散斑减少元件 40 的表面特征, 因为该工艺主要利用平的晶片工作。能够在平坦的基质上通过平板印刷来图案化散斑减少元件 40 的表面特征, 然后通过复制和成型工艺产生柔性或弯曲的散斑减少元件 40。例如, 柔性底版然后可被用来将散斑减少表面特征铸造到球表面平面基底或具有包含光功率的第二表面的平的表面上。因此, 可以产生对弯曲图像平面的进行光学校正的便宜的复制散斑减少元件 40。

[0056] 代替在散斑减少元件 40 上生成弯曲表面的替代方法是添加校正透镜系统 (图 2 中的 L2 可以被配置为这种校正透镜), 以校正商业可用胶片投影透镜的这种预先存在的图像曲率。这种与散斑减少元件 40 分开的校正透镜系统仅需要是在中继透镜元件 L1 与传统投影子系统 20 之间布置有非常小的光功率的简单校正透镜。在这方面, 校正透镜系统 (例如, L2) 可以位于散斑减少元件 40 的上游或下游, 并且可以位于在光轴 0 中在散斑减少元件 40 附近且在其与散斑减少元件 40 之间没有中间透镜。此外, 校正透镜系统可以包括仅一侧

弯曲或两侧都弯曲的透镜,并且这种曲率可以是外凸的或内凹的,这取决于设计的选择。或者,与所有透镜系统一样,可以使用多于一个透镜。因此,本领域技术人员将清楚,本发明不限于校正透镜系统的任何特定实现方式,只要其对前面讨论的标准影院胶片型投影透镜的胶片变形校正进行补偿即可。此外,根据选择的特定商业可用透镜,该校正透镜系统对于投影系统 20 可以是标准的或可选的。

[0057] 回到关于散斑减少元件 40 的一般论述,与胶片变形校正无关且不受所使用的中继透镜和投影透镜的类型约束,根据本发明的一些实施例,这种元件 40 位于或基本位于中间图像平面 21 处。此外,与胶片变形校正无关且不受所使用的中继透镜和投影透镜的类型约束,例如通过包括漫射器,该散斑减少元件 40 可以是漫射的,或者例如通过包括设置于其上的小透镜布置 44,该散斑减少元件 40 可以是折射的,这将在后面论述。

[0058] 在散斑减少元件 40 是漫射的实施例中,这种元件 40 提供中间图像 22 的相移和漫射。如上所述,由于致动器 49,该相移以时间为基础发生,使得由投影子系统 20 输出的光的有效空间相干性被眼睛平均化,以有效减少观看者察觉的散斑。散斑减少元件 40 可以是衍射元件,该衍射元件可以由诸如玻璃、熔融硅石、塑料或环氧树脂的多种不同材料制成。对于基于高亮度等级偏振的光学系统,重要的是材料不吸收光、从而出现热致应力双折射。类似地,诸如蚀刻、抛光、成型、平板印刷术和全息摄像的各种方法可被用来制造散斑减少元件 40。此外,对于偏振敏感系统,期望的是不引入应力双折射的方法。这些漫射器可以创建有任意的或周期性的图案,以最小化散斑。

[0059] 如前所述,关于图 5a 和图 5b,使用漫射器可以导致图像模糊和分辨率损失。此外,由传统漫射器引入的增大的角度扩展虽然有利于减小散斑效应,但也增大了有效系统拉格朗日,从而所需的锥角(或数值孔径(NA))以搜集所有漫射光。投影透镜 20 的 $f\#$ 的这种减少可增大透镜制造的成本和难度。例如,普通磨砂玻璃漫射器本质上以朗伯方式工作,其中,大量的光 55 溢出到投影子系统 20 的集合 f 数 24 之外,如图 3 所示。甚至现代的全息摄像漫射器也能够显著增大角度范围,从而使溢出光 55、光效损耗、投影透镜孔径、以及图像模糊增大。

[0060] 由于折射和衍射效应的组合而产生光漫射或散射,所述折射和衍射效果可以是体积相关或表面相关的。来自散斑减少元件 40 的表面的衍射导致包含较低级(角度)和较高级(角度)内容的角度扩展。公知的是,对于来自圆形孔的衍射,大约 99% 的来自衍射光的能量落在由孔形成的艾里斑图案的第四阶暗环内。理想的是将漫射结构设计成使得由衍射导致的角度扩展的大部分位于投影子系统 20 的受光孔($F\#24$)内。例如,在散斑减少元件 40 主要是衍射的一些实施例中,散斑减少元件 40 将来自第四阶以及更低阶的能量引导至投影子系统 20 的受光孔中。在需要较低 f 数投影透镜时,存在能量收集的减小返回。

[0061] 虽然漫射性散斑减少元件 40 在减少察觉到的散斑方面是有效的,但从中间图像 22 来创建漫射图像 22' 的表面处理和结构类型通常产生能量损耗,这是由于可以溢出投影系统 20 的衍射导致的。该漫射图像 22' 本质上变为相对于投影子系统 20 的对象,其具有新的波前和图像质量参数。虽然来自中继透镜 18 的像差被给予漫射图像 22' 的漫射图像像素 23' 的像素结构、尺寸和形状,但投影子系统 20 不能被最优化为校正它们,这是因为原始相位(波前)内容被漫射性散斑减少元件 40 丢失。

[0062] 对利用漫射性散斑减少元件 40 来减少散斑的替代性减少散斑的方法是使用折射

性散斑减少元件 40, 该折射性散斑减少元件 40 在角度上移动中间图像 22, 同时保持原始相位内容的至少一部分。如前所述, 折射性散斑减少元件 40 可以布置在中间图像平面 21 处, 在该中间图像平面 21 处通过中继系统 (中继透镜 18) 和其他上游光学元件来形成中间图像 22。与通过漫射性散斑减少元件 40 生成的漫射图像 22' 不同, 位于或基本位于中间图像平面 21 处的折射性散斑减少元件 40 传递中间图像 22, 同时基本上保持由中继透镜 18 投影的波前数据。

[0063] 在一些实施例中, 该折射性散斑减少元件 40 是结构化的窗口元件 45, 其包括如相对于漫射性散斑减少元件 40 所描述的在时间上移动的小透镜布置 (图 3、图 6a 和图 6b 中的 44)。与创建随机相位移动的漫射性散斑减少元件 40 不同, 这种结构化的窗口元件生成在时间上变化的角分集, 该角分集改变入射光与显示表面 30 的微结构的相互作用, 并且因此改变反射的光干涉, 从而减少散斑。

[0064] 如图 6a 所示, 结构化的窗口元件 45 可以由小透镜 41 构成, 每个小透 41 镜均具有形成在基质 46 上的孔 A。因此, 如图 6b 所示, 每个小透镜 41 用作子孔 (sub-aperture) 场镜, 当结构化的窗口元件 50 被致动器 49 移动时, 所述子孔场镜使被投影透镜 20 收集的图像光绕投影透镜的受光孔偏转。该小透镜 41 对通过中继透镜 18 形成的至少一个中间图像像素 23 进行采样, 然后结合通过运动生成系统 (例如, 致动器 49) 导致的这种结构化的窗口元件 45 的移动以时间变化的方式将与给定中间图像像素 23 相关的光的角度范围 (圆锥或立体角 25) 重新导向至投影子系统 20 的具有相对较大的受光孔径 (捕捉的立体角 26) 的不同部分 (偏转的立体角 25')。因此, 当中间图像 22 经过散斑减少元件的小透镜 41 的布置时, 运动生成系统将中间图像 22 的图像光引导到投影子系统 20 的受光孔中。然后, 投影子系统 20 在中间图像经过移动的散斑减少元件时将中间图像的被引导的图像光投影到显示屏上, 该显示屏反映出散斑减少的图像。由于对于给定的场点 (给定的中间图像像素 23), 小透镜 41 主要提供用于光束引导而不是用于漫射的机制, 因此在显示表面 30 上的基本相同位置处形成相应的屏上图像, 无论图像光向上或向下或向侧面或最小程度地偏转或是完全不偏转, 这些取决于在给定时间点与该给定像素最近的小透镜的位置。因此, 通过每个移动的小透镜 41 和投影子系统 20 的组合, 发生以最小图像质量损失被传递到图像投影表面 30 (图 1 中所示) 的角度引导。任何图像质量损耗均是由于, 至少一部分由于每个小透镜 41 传输的光功率的微小变化导致的。剩余的漫射效果还可能增大来自中间图像像素 23 的收集到的立体角、或者降低图像质量。

[0065] 如前所述, 折射性散斑减少元件 40 可以是具有小透镜 41 的结构化的窗口元件 45, 其中小透镜中的每一个均具有孔 A, 如图 6a 所示。相比于诸如蚀刻玻璃的普通漫射器表面的表面结构, 该孔的尺寸相对较大。尽管小透镜孔 A 可以是圆形、方形、或其它形状, 但理解提供像素尺寸的适当采样以减小散斑并传递大部分的光到显示表面 30 的特性是有利的。圆形孔的衍射公式显示了小透镜直径 (孔径 A) 与第四阶暗环的角度扩展之间的关系由下式给定:

[0066]
$$A = 4.24 * \lambda / \alpha$$

[0067] 其中, A = 小透镜直径或孔径

[0068] α = 角度扩展 (弧度)

[0069] λ = 关注的波长

[0070] 例如,如果透镜 20a 是 $f/2.8$ 透镜,则其具有大约 0.18 弧度的受光角 α 。对于 0.000550mm 光的波长,最小的小透镜尺寸(直径 A)为大约 $13\text{ }\mu\text{m}$ 。该尺寸与空间光调制器像素 ($5\text{--}15\text{ }\mu\text{m}$) 或其图像(即,中间图像像素)处于相同的数量级。在比大约 $13\text{ }\mu\text{m}$ 小很多的尺寸下,相当大量的光被衍射或散射,并且被损失掉。因此,一种解决方案是使得每一个小透镜均对中间图像平面 21 处的中间图像 22 的一个或多个中间图像像素 23 进行采样。换句话说,所有或几乎所有小透镜孔径 A 中的每一个均大于或等于中间图像平面 21 处的中间图像像素 23 的尺寸。在一些实施例中,使得小透镜孔径 A 比中间图像平面 21 处的中间图像的 N^2 个中间图像像素的尺寸大是有利的。在一些实施例中, N 为 $\sim 2\text{--}4$ 。由于小透镜孔径 A 对于中间图像像素 23 的尺寸来说相对较大,因此像素 23 实质上将小透镜 41 有效地看做是窗口。

[0071] 理解小透镜结构之间的间隙 42(如果存在的话)的参数也是有用的。在这方面,可以使用狭缝孔 (slit aperture) 衍射模型,其中小透镜 41 直接邻接,以提供简化的分析。在这方面,狭缝孔以与圆形孔相似的方式工作。在第一暗环内出现 83.8% 的能量,在该示例中为大约 $4\text{ }\mu\text{m}$,如下给出:

[0072] $A_g = 1.22 * \lambda / \alpha$

[0073] 以下示出了在特定光带内的能量百分比:

[0074]

阶	圆形孔	狭缝孔
0 阶	83.8%	90.3%
1 阶	7.2%	4.7%
2 阶	2.8%	1.7%
3 阶	1.5%	0.8%
4 阶	1.0%	0.5%

[0075] 在需要较低 $f\#$ 投影透镜 20 时或者在将漫射结构制造得较小时,特别是在来自 0 阶光束的一些衍射损失的情况下,存在能量收集的减小返回。对于可见光,理想的是甚至使间隙结构处在 $A_g \sim 5\text{--}20\text{ }\mu\text{m}$ 的放大像素尺寸的数量级上。同样,结构的尺寸捕捉全部 0 阶至全部 4 阶的设计将有效地简化光学元件并捕捉增加的能量。换句话说,在一些实施例中,小透镜布置 44 至少被构造成在经过通过散斑减少元件时将中间图像的第四阶或更低阶的能量传递到投影子系统的受光孔中。换言之,在一些实施例中,投影子系统 20 中的透镜的受光孔在中间图像转移通过散斑减少元件时捕捉中间图像的第四阶或更低阶的能量。

[0076] 从另一个视角来观察图 6b,由中继透镜 18 提供的到中间图像平面 22 的入射 $F\#(19)$ 在图像光经过散斑减少元件 40(为结构化的窗口元件 45)时基本上被保存。也就是说,除了任何残余的漫射外,拉格朗日和波前(或相位)信息基本上也都被保存,无论光是穿过窗口状的小透镜间隙 42 或是被小透镜 41 偏转到投影透镜 (24) 的较大受光 $F\#$ 中。因此,给定中间图像像素 23 的放大图像然后被图像质量损失最小地提供在显示表面 30 处,无

论图像光是经过通过投影子系统 20 的偏转路径或是未偏转路径。

[0077] 包括结构化的窗口元件 45 作为折射性散斑减少元件 40 的实施例可以具有位于元件 40 的上游侧（例如，面对中继透镜 18）或位于元件 40 的下游侧（例如，面对投影子系统 20，如图 3 所示）的小透镜布置 44。此外，在折射性散斑减少元件 40 具有弯曲表面以补偿投影子系统 20 中的胶片变形校正的实施例中，如果适用的话，小透镜布置 44 可以位于所述弯曲表面上或者位于所述弯曲表面的相反侧上的平表面上。小透镜布置 44 主要使结构化的窗口元件 45 的相应表面是折射性的。在一些实施例中，小透镜布置 44 完全或几乎完全包括邻接的小透镜，例如如图 3 所示。在其他实施例中，例如如图 6a 和 6b 所示，小透镜布置 44 完全或几乎完全包括稀疏分布（例如，不邻接）的小透镜 41，其中在小透镜 41 之间具有间隙 42。间隙 42 包括小透镜 42 之间的空间，其中基质 42 的前表面和后表面名义上彼此平行。在任一种情况下，小透镜布置 44 都导致一定的漫射。例如，当小透镜 41 邻接时，邻接的小透镜 41 之间的凹谷由于残余衍射和边缘效应而导致一定的漫射。另一方面，当小透镜 41 不邻接时，小透镜 41 之间的空间或间隙 42 可导致一定的漫射（通过衍射或散射）。不论这种漫射的原因是什么，在本发明的一些实施例中，投影子系统 20 中的透镜的受光孔（由捕捉的立体角 26 表示）都捕捉由小透镜之间的间距或邻接的小透镜 41 之间的凹谷导致的这种漫射。在使用非邻接的小透镜 41 的实施例中，理想的是使得或基本上使得小透镜 41 之间的间隙 42 足够大，以允许来自小透镜间隙 42 的漫射光进入投影透镜 20 的受光孔中。在一个实施例中，小透镜间隙 42 大于或等于中间图像平面处的中间图像的像素的尺寸。基本上，如前所述，这意味着小透镜间隙 42 应当足够大 (A_g)，以致其不引起显著的衍射效应。

[0078] 关于这一点更进一步地，在一些实施例中，可以使用组合元件作为散斑减少元件 40，该组合元件导致更加等量的漫射和折射，或者衍射和折射，以产生时间上变化的角分集和一定程度的随机相位移动。例如，小透镜间隙 42 可以不是平的，而是具有某种轻度表面结构，具有带大的空间尺寸（几微米）和最小凹陷的任意斑点化的轮廓，以引入轻度的漫射。在一些实施例中，可以使用小透镜或棱镜阵列，其中小透镜或棱镜结构的表面被进一步结构化，除了由于折射导致的角度移动外，还具有可变或固定相移深度内容。因此，当移动散斑减少元件 40 时，存在进入投影透镜中的图像的角度移动以及还有相干光的相位移动。

[0079] 在包括具有小透镜布置 44 的结构化的窗口元件 45 作为折射性散斑减少元件 40 的实施例中，各个小透镜 41 的布置可以是或者基本是六边形的，对角线形的，任意的，或者在两个尺寸中的任一个是线性的以创建图案。在一些实施例中，使得运动生成系统在平面内移动散斑减少元件 40 大于或等于小透镜重复周期（一个小透镜和一个间隙（如果存在），例如，图 6a 中的竖直小透镜周期 38 或水平小透镜周期 39）的距离，从而允许来自小透镜 41 的角分集的全部范围。该运动允许在眼睛的时间响应上的平均化。与前面关于漫射性散斑减少元件 40 的论述相同，结构化的窗口元件 45 可以以任何多种方式在平面内移动（对于图 5a 所示的 X-Y 平面），例如通过线性转换器或通过利用马达来旋转。因此，本领域普通技术人员将理解，致动器 49 可以采取多种形式中的任一种，例如包括压电转换器。

[0080] 在一些实施例中，不论散斑减少元件 40 是衍射性的或是折射性的，具有散斑减少元件 40 的平面外运动（沿 Z 轴，见图 5a）是有益的，只要这种运动位于较快的投影子系统 20 的焦深内并且对于屏幕处的容许散焦具有一定的宽裕即可。由于中继透镜 18 具有大得

多的焦深,该焦深名义上与投影透镜焦深重合,所以根据这种约束设计的系统 50 将几乎没有图像质量损失。上下文中的“平面外运动”指的是平行于或基本平行于散斑减少元件 40 的光轴(在图 2 的示例中为轴线 0)方向的运动。这种通常留在投影子系统 20 和中继透镜 18 的焦深内的平面外运动通过引入附加的角分集或相移进一步减小了散斑,而基本上不影响像素分辨率。在平面外运动提供给散斑减少元件 40 的实施例中,平面内运动也被提供。

[0081] 为了减少来自散斑减少元件 40 的光的损失(无论是衍射性的或是折射性的),有益的是将散斑减少元件 40 设计成使得来自中继透镜 18 的图像光的组合角(在 $f\#19$ 内)加上散斑减少元件 40 形成的角分集和漫射(见图 6b,对于折射性散斑减少元件 40 的情况)等于或基本等于投影子系统 20 的可捕捉立体角 26 或受光 f -数 24(在图 3 中示为项 24)。例如,如果对于具有大约 $f/2.5$ 的投影透镜 $f\#$,位于折射性散斑减少元件 40 之外的 $f\#$ 基本大于大约 $f/5$,则散斑减少将由于缺少角分集而被减少。替代地,如果位于折射性散斑减少元件 40 之外的 $f\#$ 小于投影子系统 20 的 $f\#$,则一些光将不被投影子系统 20 收集,并且光学处理能力将降低。

[0082] 值得注意的是,当照明来自激光时,相干光投影系统 10 的内部部件可以具有低的集光率,一般在大约 $f/6$ 的范围内。从光学设计的视角来看,这种低集光率是有利的,其允许在每个颜色通道内使用较小、较慢且更便宜的透镜元件和光调制器。

[0083] 数字微镜或 DLP 器件在其调制的光,从其镜元件的反射的光基本是远心的,基板上平行于光轴出现时最有效地工作。诸如激光的低集光率光源对于提供远心系统中的照明是有利的,并且非常适于提供 DLP 照明源。

[0084] 此处描述的本发明的实施例有助于通过校正中间图像内的散斑来对散斑进行补偿。中间图像可以以仿效传统胶片格式的尺寸或格式形成,从而使得能够使用现成的投影透镜用于随后投影到显示表面上。因此,本发明的各种实施例允许使用激光和相关的高度相干源,其对于亮度和光谱特性是有利的,具有数字光调制器,没有过多的散斑。

[0085] 已经参照本发明的某些实施例详细描述了本发明。然而,应当理解,能够实现处于本发明的范围内的变型和修改。例如,透镜元件可以由任何合适类型的透镜玻璃或其他光学材料制造。可以提供各种类型的透镜安装布置。可以使用多种类型的激光源,例如包括激光器阵列。可以使用众多不同类型的光调制器中的任一种,包括数字微镜、液晶显示(LCD)装置、机电光栅装置,如光栅机电系统(GEMS)装置和光栅光阀(GLV)装置,或者其他类型的像素化阵列装置。尽管已经描述了使用三原色(RGB)的实施例,但也可以使用本发明的这样的实施例:其中使用多于或少于三个光源或调制器。另外,术语“系统”和“子系统”在本文中经常用来承认尽管文中示出的某些实施例具有透镜或其他部件的特定布置,但本领域普通技术人员将理解,这些特定布置可以被一种或多种其他布置替代,以实现与文中所描述的相同的功能。例如,中继系统在本文通常被描述为包括中继透镜 18。这种透镜 18 可以被仍形成在中间图像平面 21 处的中间图像 22 的多个透镜替代。同样的推理也适用于本文描述的投影子系统 20 和其他系统。另外,术语“系统”和“子系统”还在本说明书中用来承认也可以存在本文未示出或描述的附加的传统部件。例如,中继系统 18 可以包括中继透镜 L1,但其可能还包括透镜安装硬件、某些光学涂层等。

[0086] 部件列表

[0087] 5 对象平面

- [0088] 7 显示图像平面
- [0089] 10 相干光投影系统
- [0090] 12r、12g、12b 光调制器
- [0091] 14 组合器
- [0092] 16r、16g、16b 光源
- [0093] 18 中继透镜
- [0094] 19 中继透镜 f#
- [0095] 20 投影子系统
- [0096] 20a 投影子系统的透镜
- [0097] 20b 投影子系统的透镜
- [0098] 21 中间图像平面
- [0099] 22 中间图像
- [0100] 22' 漫射图像
- [0101] 23 中间图像像素
- [0102] 23' 漫射图像像素
- [0103] 24 投影子系统入口 f#
- [0104] 25 立体角
- [0105] 25' 偏转的立体角
- [0106] 26 捕捉的立体角
- [0107] 30 显示表面（或屏幕）
- [0108] 38 竖直小透镜周期
- [0109] 39 水平小透镜周期
- [0110] 40 散斑减少元件
- [0111] 41 小透镜
- [0112] 42 小透镜间隙
- [0113] 43 弯曲的漫射器表面
- [0114] 44 小透镜布置
- [0115] 45 结构化的窗口元件
- [0116] 46 基质
- [0117] 49 致动器
- [0118] 50 相干光投影系统
- [0119] 55 溢出光
- [0120] 60 胶片
- [0121] 62 孔板
- [0122] L1 中继透镜元件
- [0123] L2 场镜（或校正透镜）
- [0124] 0 光轴
- [0125] Wa、Wb 焦点距离
- [0126] d 胶片变形

- [0127] Φ 模糊圈直径
- [0128] A 小透镜孔
- [0129] Ag 小透镜间隙孔尺寸

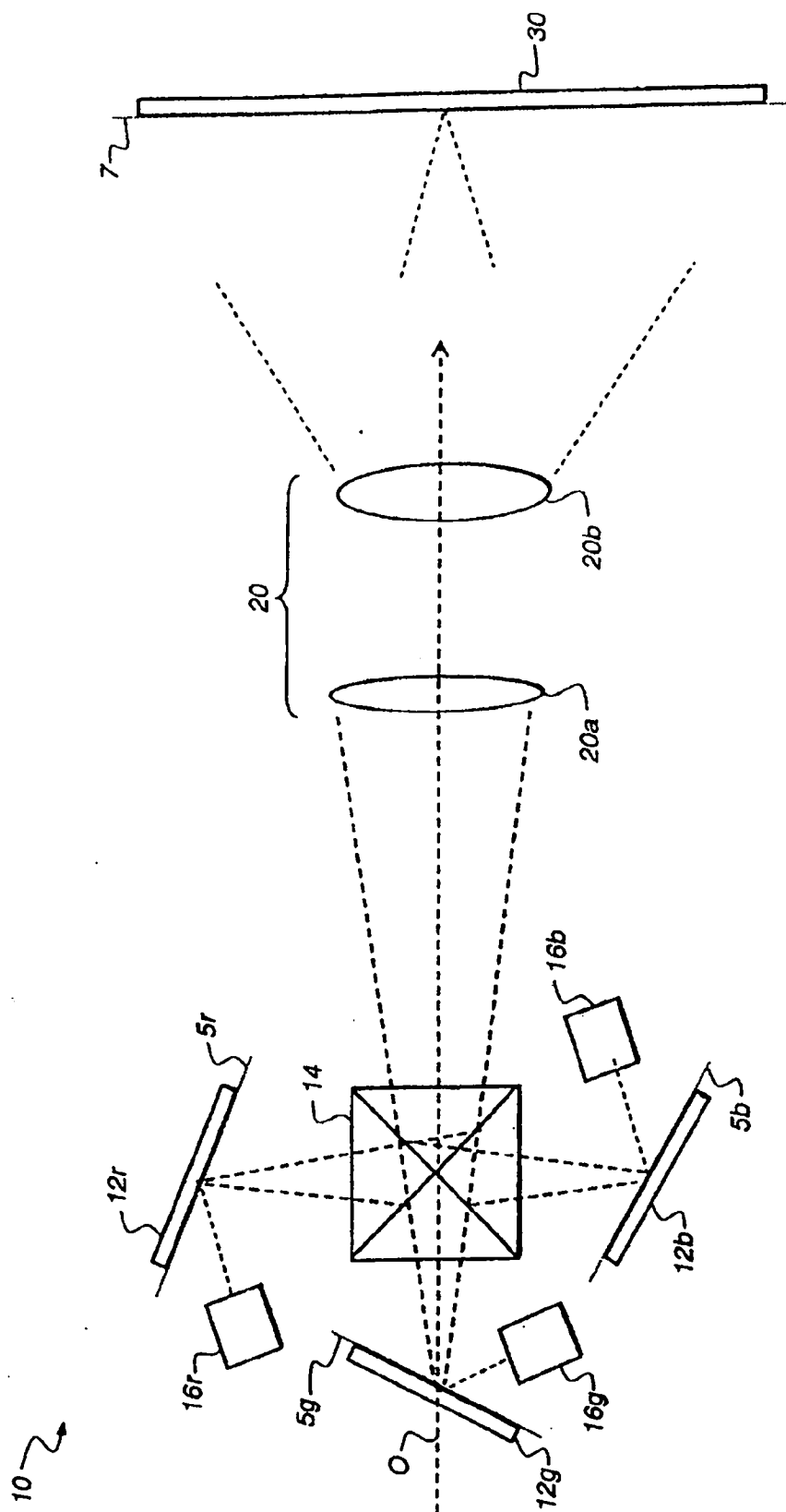


图 1

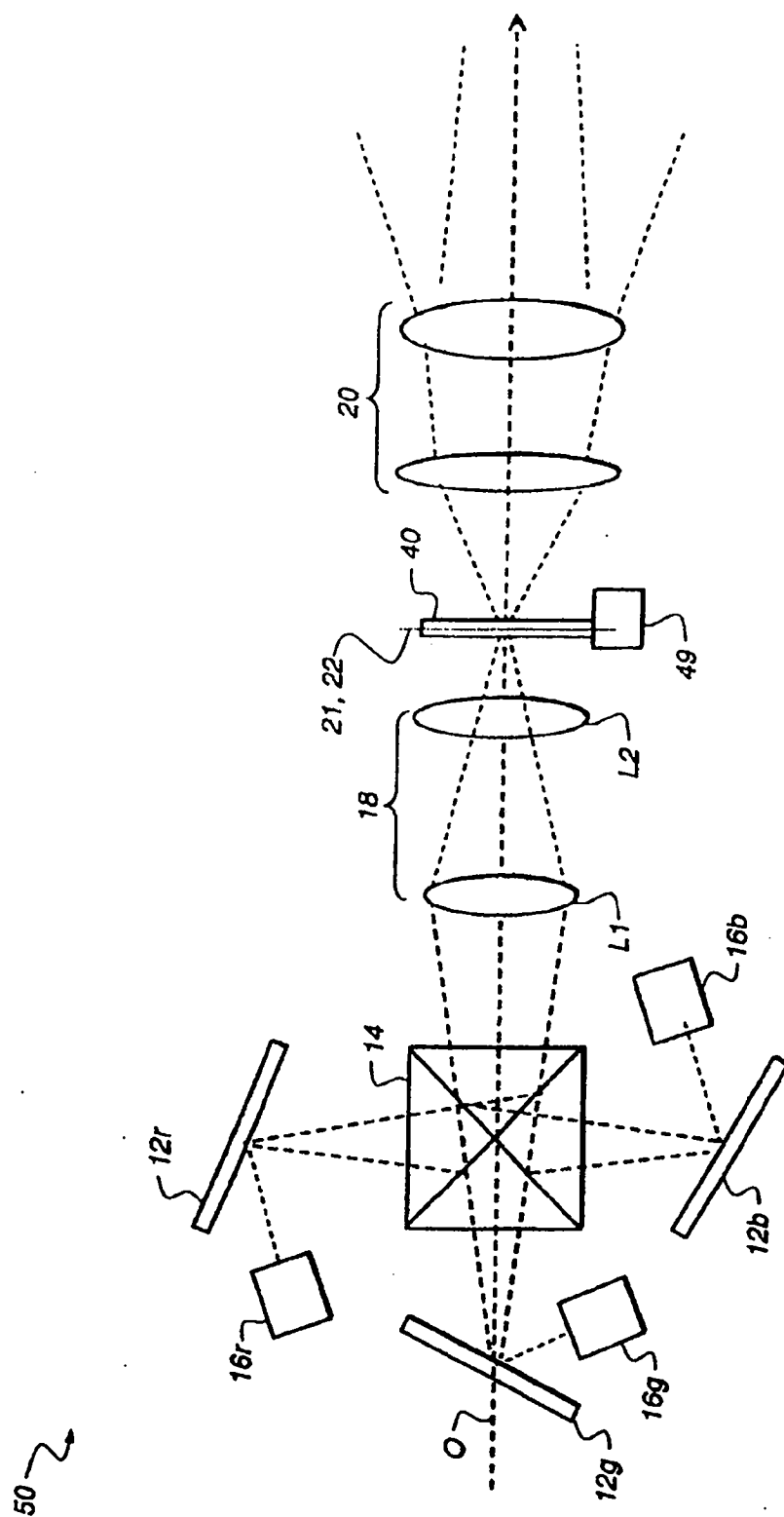


图 2

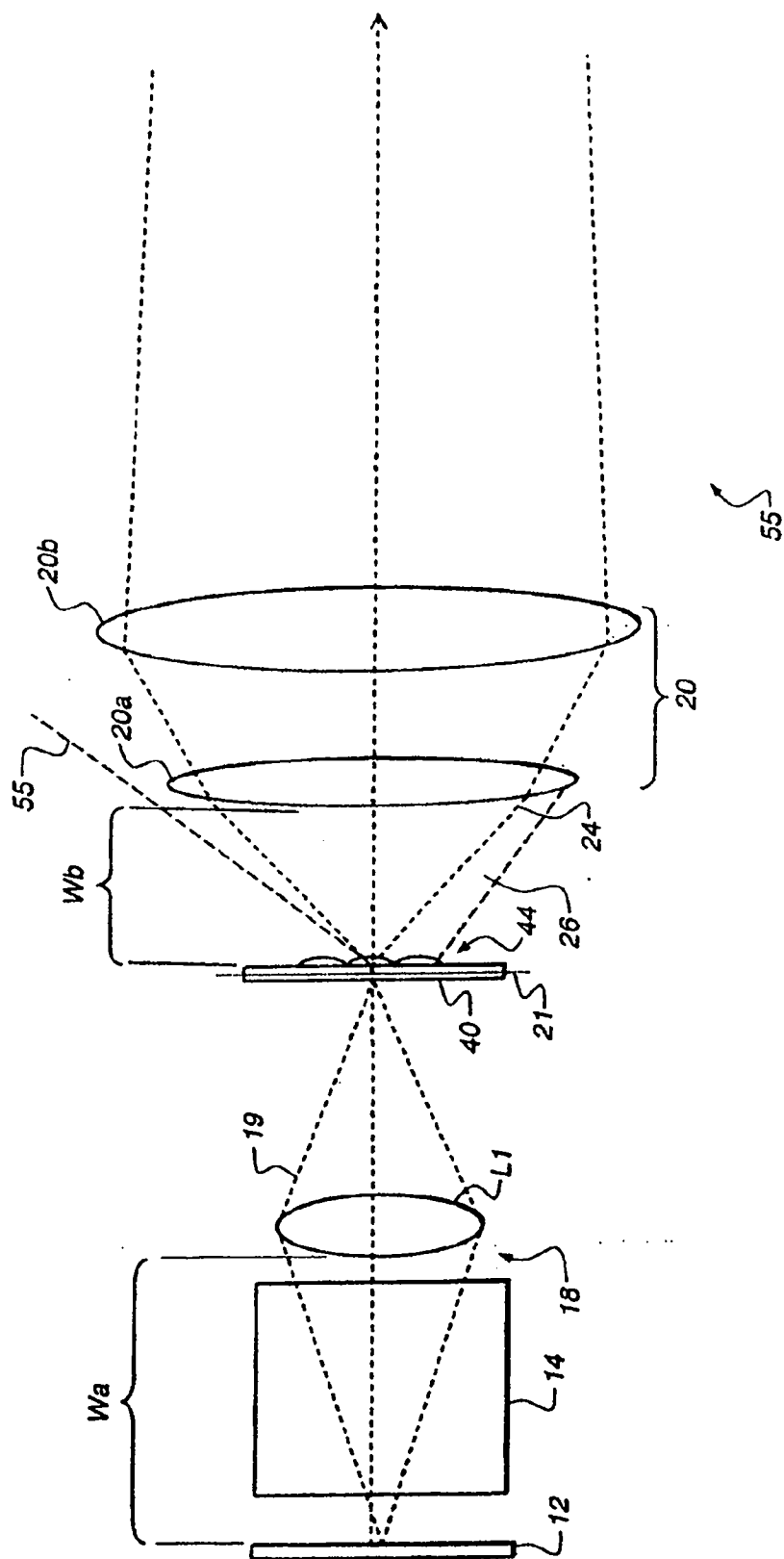


图 3

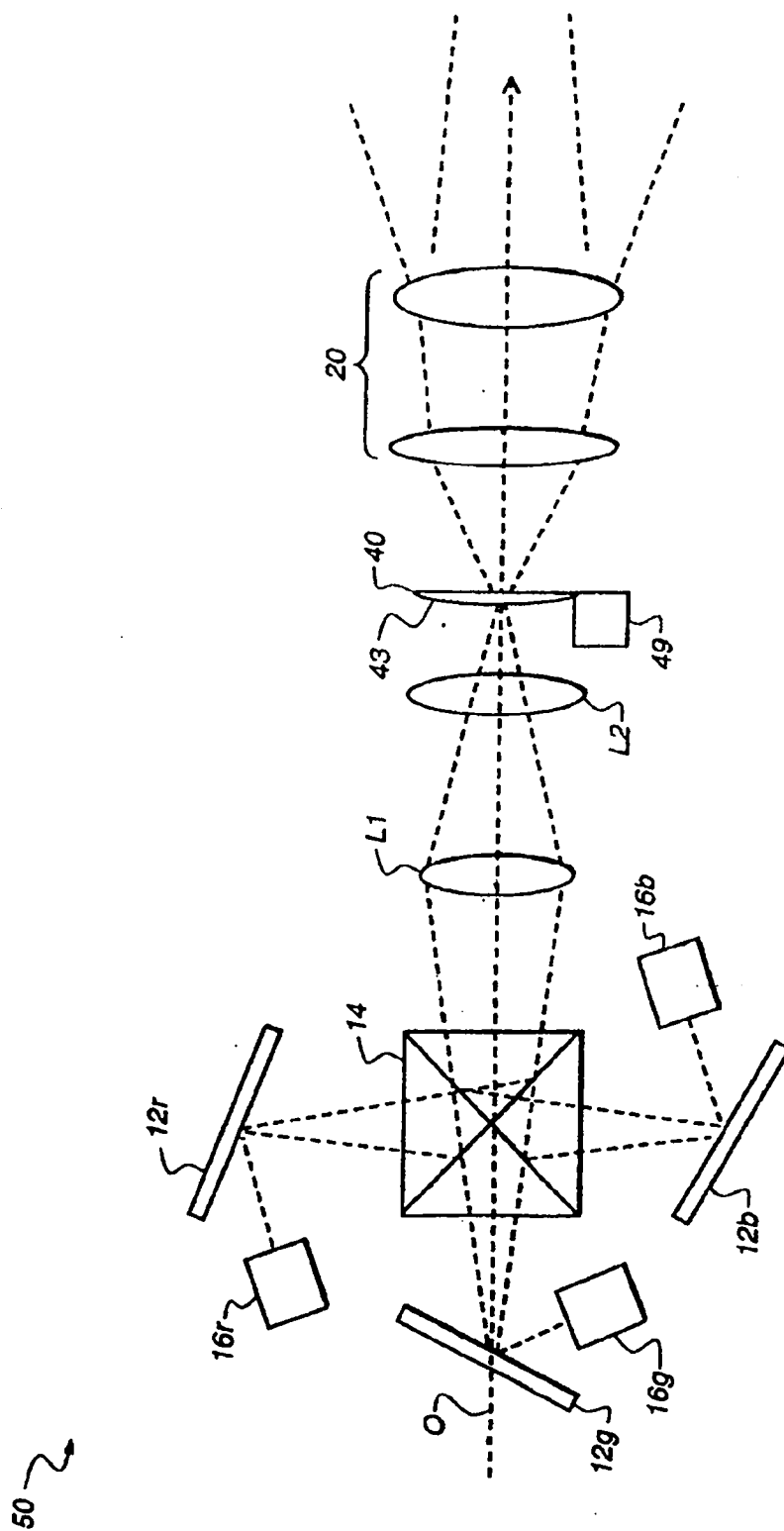


图 4

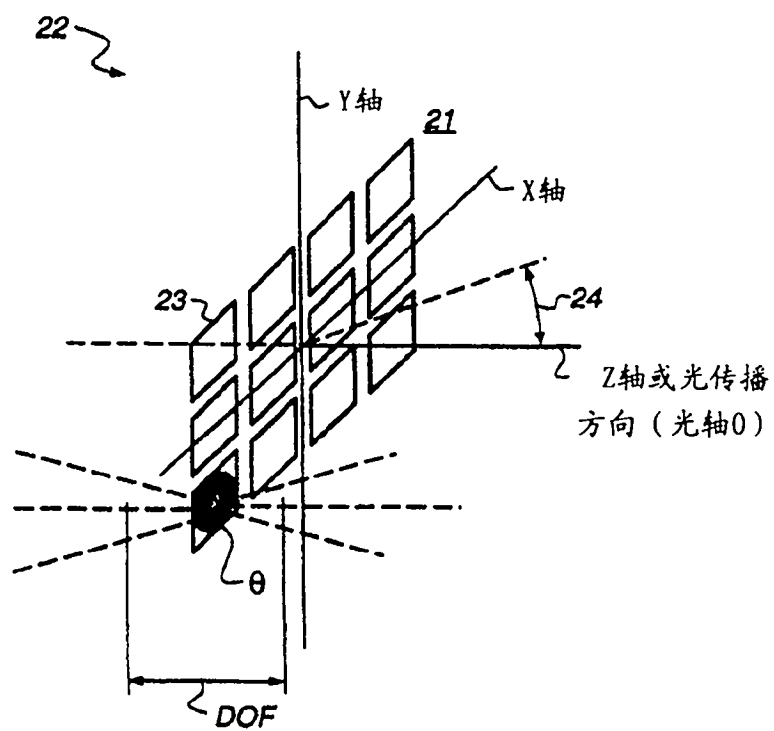


图 5a

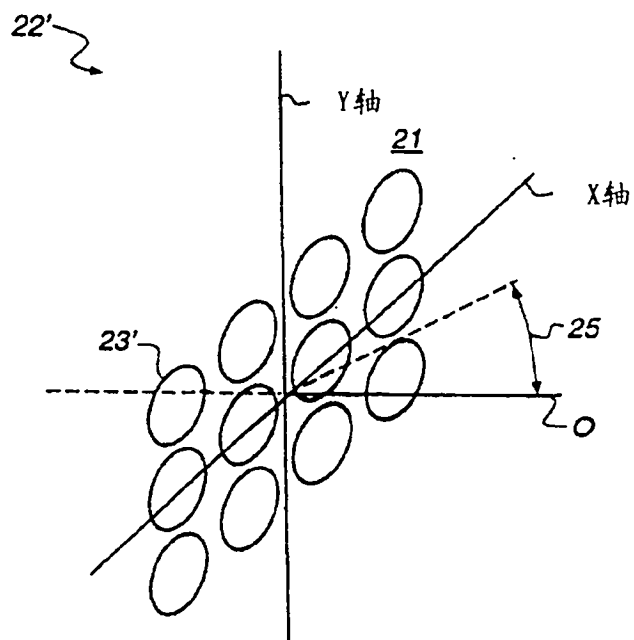


图 5b

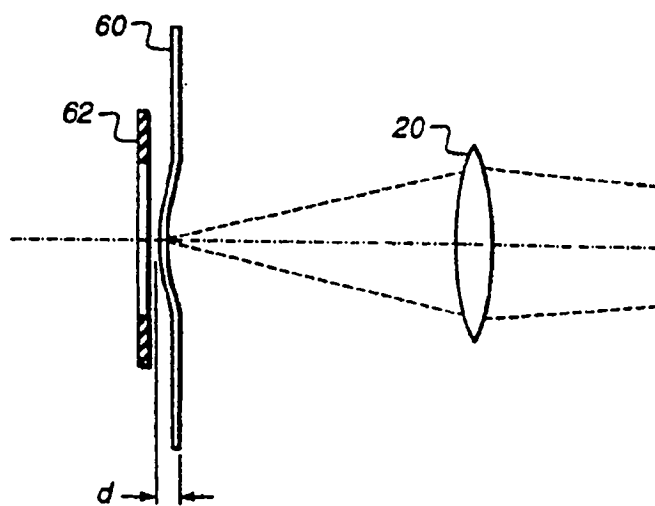


图 5c (现有技术)

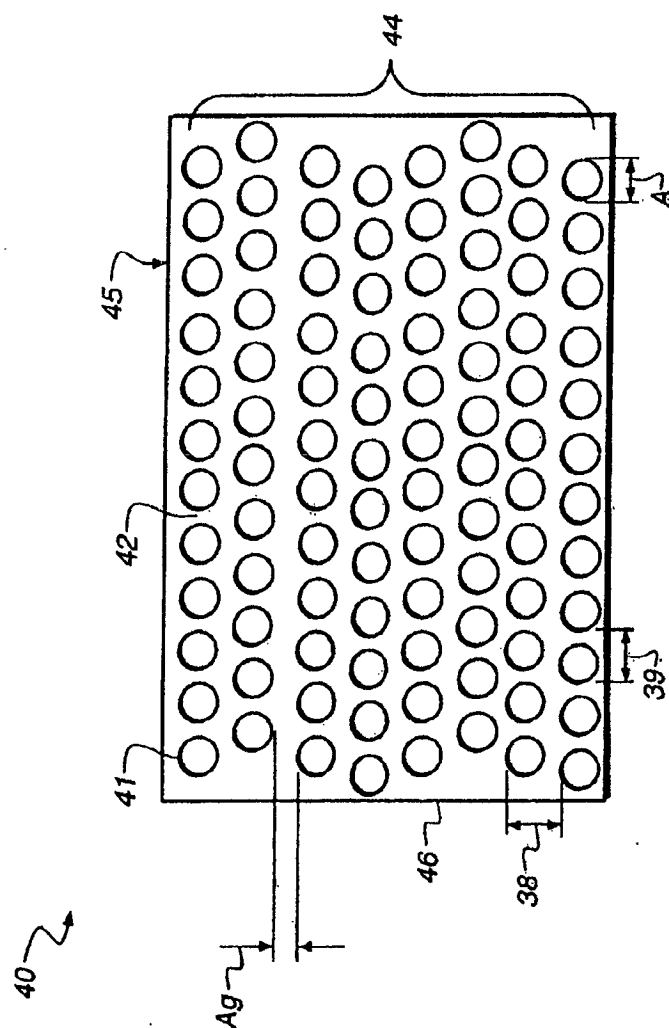


图 6a

