[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02B 6/02 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580044484.9

[45] 授权公告日 2009 年 8 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100523885C

[22] 申请日 2005.11.4
[21] 申请号 200580044484.9
[30] 优先权
[32] 2004.12.22 [33] US [31] 11/020,894
[86] 国际申请 PCT/US2005/039955 2005.11.4
[87] 国际公布 WO2006/068707 英 2006.6.29
[85] 进入国家阶段日期 2007.6.22
[73] 专利权人 3M 创新有限公司
地址 美国明尼苏达州
[72] 发明人 利文特·伯耶克勒
杰罗姆·C·波尔凯
詹姆士·M·巴蒂亚托
大卫·B·斯特高尔
[56] 参考文献
EP1378770 A1 2004.1.7
US2004/0156586 A1 2004.8.12
CN1236896 A 1999.12.1
Interferometric side – diffraction position monitoring techniquefor writing long fiber Bragg gratings. Chuang, K. P., Wu, L. L., Lai, Y. Lasers and Electro. Optics, 2004. (CLEO). Conference on, Vol. 2. 2004
审查员 胡 涛
[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司
代理人 梁晓广 陆锦华

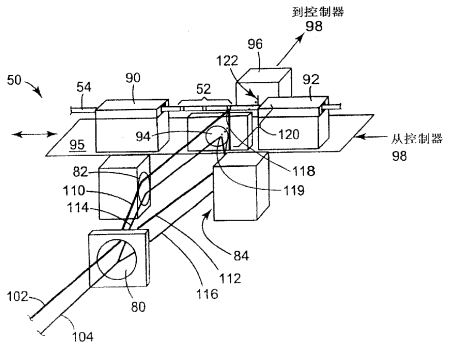
权利要求书 3 页 说明书 24 页 附图 9 页

[54] 发明名称

制造光学衬底中的结构

[57] 摘要

一种用于制造光学衬底(54)中的结构(52)的系统和方法。光学元件(80)产生第一和第二写光束(110，112)，其在光学衬底(54)的第一相交位置(112)处相交。第一相交位置(118)包括由第一和第二写光束(110，112)所产生的条纹图(52)。该光学元件(80)也产生第一和第二参考光束(114，116)，其在与第一相交位置(118)基本上同一平面内的第二相交位置(119)处相交并重新组合。然后，控制器基于从重组第一和第二参考光束(114，116)得到的信号来控制在光学衬底(54)和条纹图之间的相对定位。



1. 一种用于制造光学衬底中的结构的系统，该系统包括：

光学元件，其产生第一和第二写光束，以及第一和第二参考光束，所述第一和第二写光束在光学衬底的第一相交位置处相交，所述第一和第二参考光束在与第一相交位置基本上同一平面内的第二相交位置处相交并重新组合，第一相交位置包括由第一和第二写光束产生的条纹图；以及

控制器，其基于从重组的第一和第二参考光束获得的信号来控制光学衬底和条纹图之间的相对定位。

2. 根据权利要求 1 所述的系统，其中该控制器包括：

光束组合器，其定位在第二相交位置，用以将第一和第二参考光束重新组合成编码光束；

检测器，其基于编码光束来产生检测器信号；

处理器，其基于检测器信号来确定关于光学衬底的位置信息；以及

平移工作台，其基于关于光学衬底的位置信息来定位该光学衬底。

3. 根据权利要求 2 所述的系统，其中检测器包括：

狭缝，其用于接收编码光束；以及

强度检测器，其用于确定透过狭缝的编码光束的强度并基于该强度来计算该编码光束的相位。

4. 根据权利要求 2 所述的系统，其中检测器包括：

第一光纤，其用于接收编码光束；以及

第一光学检测器，其与第一光纤光学地耦合，用以基于编码光束来产生与光学衬底的位置相关的第一信号。

5. 根据权利要求 4 所述的系统，其中检测器进一步包括：

第二光纤，其接近第一光纤而设置，用以接收编码光束；以及

第二光学检测器，其与第二光纤光学地耦合，用以基于编码光束来产生与光学衬底的位置相关的第二信号。

6. 根据权利要求 2 所述的系统，其中平移工作台包括：

线性工作台，其运送光学衬底和光束组合器，从而使光学衬底按照基本上与光束组合器相对于第二相交位置移动的相同的速度相对于第一相交位置移动。

7. 根据权利要求 2 所述的系统，其中平移工作台包括：

线性工作台，其运送光学衬底；以及

压电工作台，其运送光束组合器以促进光束组合器相对于光学衬底的运动。

8. 根据权利要求 1 所述的系统，其中光学元件包括：

分束器，其从第一入射光束产生第一和第二写光束，并且从第二入射光束产生第一和第二参考光束；以及

反射部分，其引导第一和第二写光束从而使其在第一相交位置处相交，并且用于引导第一和第二参考光束从而使其在第二相交位置处相交，其中通过使分束器相对于第一入射光束和第二入射光束移动而使第一和第二写光束的相交角与第一和第二参考光束的相交角是可调的。

9. 一种用于制造光学衬底中的结构的方法，该方法包括：

从第一入射光束产生第一和第二写光束，并且从第二入射光束产生第一和第二参考光束；

引导第一和第二写光束使其在光学衬底的第一相交位置处相交，该第一相交位置包括由第一和第二写光束产生的条纹图；

引导第一和第二参考光束使其在与第一相交位置基本上同一平面内的第二相交位置处相交；

从第二相交位置处的第一和第二参考光束获得参考信号；以及

基于参考信号调整光学衬底和第一相交位置之间的相对定位。

10. 根据权利要求 9 所述的方法，其中从第二相交位置处的第一和第二参考光束获得参考信号包括：

利用光束组合器将第一和第二参考光束重新组合成编码光束；以及

根据编码光束来确定关于光学衬底和条纹图的位置信息。

11. 一种用于制造光学衬底中的结构的系统，该系统包括：

光学组件，其用于从光束中产生写入射光束和参考入射光束，并且用于沿着基本上类似的传播路径引导写入射光束和参考入射光束；

干涉仪，其接收写入射光束和参考入射光束，并从写入射光束产生第一和第二写光束，从参考入射光束产生第一和第二参考光束，第一和第二写光束在光学衬底的第一相交位置处相交并产生条纹图，第一和第二参考光束在基本上与第一相交位置同一平面内的第二相交位置处相交；

光束组合器，其设置在第二相交位置，以便将第一和第二参考光束重新组合成重组光束；

检测器，其设置为接收重组光束，并基于该重组光束来确定关于光学衬底和条纹图的位置信息；以及

控制器，其基于从重组光束获得的信号来控制在光学衬底和条纹图之间的相对定位。

制造光学衬底中的结构

技术领域

本发明总的来说涉及光学系统。更特别的是，本发明涉及一种用于制造光学衬底中的周期性或非周期性结构的系统。

背景技术

光纤是长的、细的多束纯玻璃线，其用于长距离地传输光信号。每根光纤通常具有三部分：芯、包层和缓冲涂层。芯是光纤的细玻璃中心，光在该芯中行进。包层是环绕该芯的外部光学材料，由于包层的折射率小于内部芯的折射率，因此其将光反射回到芯中。缓冲涂层是聚合物涂层，其保护光纤使之免受损坏和免于受潮。

纤维光栅是光波导的有效吸收系数和/或有效折射率的周期性或非周期性扰动（perturbation）。其能够对入射在该光栅上的预定波长范围的光进行反射，同时透射所有其他非谐振波长的光。纤维光栅作为例如波分多路复用（WDM）的滤波器、光学放大器的增益平坦化滤光器，以及用于对进行光学放大器进行充能（pump）的激光二极管的稳定器来说是有益的。

通常，通过将单模光纤的芯横向暴露于强烈的光化辐射（例如，紫外光）的周期性图案，从而由此制造纤维光栅。曝光引起纤芯折射率永久增大，根据曝光图案形成了固定的折射率调制。该固定的折射率调制称为光栅。在每一次周期性的折射改变时，反射少量的光。当光栅周期近似为入射光波长的一半时，所有的反射光信号相干地在特定波长处合并成一次大的反射。这称作布拉格条件，发生该反射的波长称为布拉格波长。

为了横向地曝光纤芯以形成光栅，通常使光纤相对于光源移动（反之亦然）。制造光栅的难题在于要使光纤和光源之间的相对运动所引起的光栅中多次曝光之间的位置误差最小。位置误差会导致在形成该光栅的多个分段之间的相位误差。解决该问题的一种方法涉及使光纤在旋转工作台上匀速移动，同时用依赖于时间的函数发生器来调制写光束。该方法需要旋转工作台保持恒定角速度，根据该恒定角速度来推断旋转工作台的位置。但是，如果旋转工作台没有保持恒定角速度，那么可能出现位置和相位误差。

第二种方法涉及在线性工作台上运送光纤，并且使光纤在沿着其自身的各个预定的固定位置处停止并曝光从而使光栅连接（stitch）在一起。尽管利用该方法运送光纤的工作台不需要保持匀速，但是必须以极高的位置精度将多个光栅部分连接（stitch）在一起。不能保持这种高精度也会导致在制造过程中出现位置和相位误差。

第三种方法是前两种方法的结合，其涉及精确地获知在运送光纤的工作台的位置，并同时使光纤相对于光学干涉图案而移动。读取工作台的位置，并根据测得的位置对写光束进行调制。在该方法中，工作台保持匀速，并且必须不断地获知高精度的工作台的位置。但是，该方法仅仅解决了因运送光纤的工作台的速度波动而引起的误差。在制造环境中普遍存在的其他扰动会导致等效的位置或速度误差，但这些误差未被检测到并且未对其进行校正，所述其他扰动如干涉条纹偏移或运动、光学支架的振动、波长波动、写光束的位置波动、非线性的光纤光敏性等。这些其它误差源可以使系统的总体误差增加一个数量级或更多。

这样，需要一种在制造光学衬底的结构中解决这些和其他误差源的系统。

发明内容

本发明涉及一种用于制造光学衬底中的结构的系统和方法。光学元件产生第一和第二写光束，其在光学衬底的第一相交位置处相交。第一相交位置包括由第一和第二写光束所产生的条纹图。该光学元件也产生第一和第二参考光束，其在与第一相交位置基本上同一平面内的第二相交位置处相交并重新组合。然后控制器基于从重组的第一和第二参考光束得到的信号来控制在光学衬底和条纹图之间的相对定位。

在一个实施例中，控制器包括定位在第二相交位置处的光束组合器，其用于将第一和第二参考光束重新组合成编码光束。另外，该控制器额外包括检测器，其基于编码光束产生检测器信号。该控制器也包括处理器，其基于检测器信号来确定有关光学衬底的位置信息。该控制器进一步包括用于基于有关光学衬底的位置信息来定位该光学衬底的设备。

附图说明

图1是用于形成光学衬底中的结构的常规干涉仪的顶视图。

图2是显示出在常规制造系统中形成光学衬底中的结构时所发生的速度误差的线图。

图3A是根据本发明实施例的用于制造光学衬底中的结构的系统的顶视图。

图3B是图3A中所示系统的一部分的透视图。

图4是显示出作为光束组合器位置的函数的由图3A和3B所示系统的光束组合器所产生的条纹强度的曲线图。

图5是用于确定图3A和3B所示系统中有关光学衬底的位置信息的检测器的另一实施例的顶视图。

图6示出用于确定图3A和3B中所示系统中有关光学衬底的位置信息的检测器的又一实施例。

图7是用于控制光学调制器的模拟光学调制器控制系统的示意图。

图8A是用于促进光学衬底和光束组合器之间的相对运动的线性工

作台组件的顶视图。

图8B是图8A中所示线性工作台组件的侧视图。

图9是用于控制光学调制器的数字光学调制器控制系统的示意图。

图10是可调谐干涉仪的顶视图，该可调谐干涉仪用于防止因光学结构的中心波长的移位而引起的失谐。

图11是显示根据本发明的系统的速度均匀性的曲线图，所述系统具有用于单独控制光学衬底的运动的线性工作台和包括快/慢分量速度校正部件以控制光学衬底的运动的线性工作台。

图12是根据本发明的用于制造二维衬底中的结构的定位工作台的平面图。

图13A是根据本发明的用于制造二维衬底中的结构的另一种定位工作台的平面图。

图13B是包括图13A的用于制造二维衬底中的结构的定位工作台的系统的一部分的顶视图。

图14是显示出利用图13A和13B中所示系统而形成的二维光栅的照片。

尽管上面列出的附图阐述了本发明的几个实施例，但是其他实施例也是可以设想到的，如在详述中所提示的。在所有的情况下，公开的内容用来说明本发明而非限制本发明。应该理解，本领域的技术人员能够设计许多属于本发明原理的范围和精神的其他修改和实施例。这些附图可能没有按照比例绘制。在所有附图中使用相同的附图标记来表示相同的部件。

具体实施方式

图 1 是用于在光学衬底 14（例如光波导，如光纤）中形成干涉图案 12 的常规干涉仪 10 的顶视图。干涉仪 10 包括分束器 16 和反射器 18 和 20。光源 22 向干涉仪 10 提供入射光束 24，所述光源通常是光化辐射源，如激光器。干涉仪 10 通常称作 Talbot 干涉仪。

在通常的 Talbot 干涉仪中，分束器 16 将入射光束 24 分成两个写光束，即第一写光束 26 和第二写光束 28。通常，将入射光束 24 分成使该入射光束 24 的一半从分束器 16 透射而作为第一写光束 26，并使入射光束 24 的一半从分束器 16 透射而作为第二写光束 28。反射器 18 将第一写光束 26 引向光学衬底 14，且反射器 20 将第二写光束 28 引向光学衬底 14。第一写光束 26 和第二写光束 28 入射在光学衬底 14 上的入射角基于第一写光束 26 入射在反射器 18 上和第二写光束 28 入射在反射器 20 上的点和入射角。第一写光束 26 和第二写光束 28 分别以光束间半角 θ 从反射器 18 和 20 朝光学衬底 14 反射。第一写光束 26 和第二写光束 28 在相交平面 30 处相交，并在光学衬底 14 中的区域 32 处彼此干涉。曝光引起光学衬底 14 的折射率永久增大，根据曝光图案形成结构 12（通常称作光纤芯中的光栅）。干涉仪形成的结构的周期可以由公知的布拉格方程来描述

$$2n\Lambda_B \sin\theta = m\lambda$$

方程 1

其中 Λ_B 是周期，θ 是写光束之间的半角，λ 是用于形成结构 12 的写光束的波长，m 是代表衍射级的整数，n 是折射率。

为了形成光学衬底 14 中的结构 12，必须使光学衬底 14 相对于相交平面 30 移动（反之亦然）。制造结构 12 的难题在于，要使由光学衬底 14 和相交平面 30 之间的相对运动所引起的多次曝光之间的相位或位置误差最小。已经提出了各种方法来解决这一难题，如使光学衬底 14 相对于相交平面 30 保持匀速，或者使光学衬底 14 在沿着各个预定的固定位置处停止并曝光以使结构 12 连接（stitch）在一起。但是，利用这两种方法可能会出现相位或位置误差，因为它们分别需要极精确地控制光学衬底 14 的速度和位置。解决相位和位置误差问题的第三种方法涉及精确地获知在运送光学衬底 14 的工作台的位置，同时使其相对于相交平面 30 移动。读取工作台的位置，并根据测得的位置对写光束 26 和 28 进行调制。这种方法解决了前两种方法的缺陷，即，即使光学衬底 14 没有保持匀速也能够不断地获知光学衬底 14 的位置。但是，该方法仅仅解决了因运送光学衬底 14 的工作台的速度波动而引

起的误差。在制造环境中普遍存在的其他扰动导致了等效的位置或速度误差，但这些误差未被检测到并且没有对其进行校正，所述其他扰动如干涉条纹偏移或运动、光学支架的振动、波长波动、写光束的位置波动等。

图 2 是显示出在采用上述第三种方法的常规光学制造系统中形成干涉图案时发生的速度误差的频谱的线图。线 42 示出由于运送光学衬底 14 的工作台的速度波动而引起的误差的幅度。该误差比较了工作台的实际速度与工作台的期望速度，并且利用加速度计来测量。线 44 示出除了由于运送光学衬底 14 的工作台的速度波动引起的误差之外的由制造环境中的外界噪声源（如上面所列出的）引起的误差的幅度。该误差比较了工作台的实际速度与工作台的期望速度。如从图中所看到的，外界噪声源将某些频率处的系统总误差的幅度增大了一个数量级或更大。

图 3A 和 3B 是根据本发明实施例的用于制造光学衬底 54 中的结构 52 的系统 50 的顶视图和透视图。系统 50 包括光源 60、包含反射器 62、64 和 66 的潜望镜、拾取反射器 70、光学调制器 72、光束控制反射器 74、76 和 78、分束器 80、反射器 82 和 84、光学衬底支架 90 和 92、光束组合器 94、工作台 95、检测器 96 和控制器 98。光学衬底支架 90 和 92 以及光束组合器 94 连接于工作台 95 上。光学衬底支架 90 和 92 将光学衬底 54 保持在适当位置。相对于光束组合器 94 定位的检测器 96 电连接于控制器 98，且控制器 98 电连接于光学调制器 72 和工作台 95。

光源 60 产生光束 100，该光源优选是光化辐射源，如激光器。光束 100 分别经反射器 62、64 和 66 朝拾取反射器 70 反射。在一个实施例中，反射器 62 和 64 是有源光束控制反射镜，其受机电控制从而便于光束 100 的有源稳定。这种稳定保证光束 100 以所希望的点和角度入射在拾取反射器 70 上。拾取反射器 70 将光束 100 的一部分反射作

为写入射光束 102，并将光束 100 的一部分透射作为参考入射光束 104。调整拾取反射器 70 的角度从而使写入射光束 102 按照与参考入射光束 104 基本上正交的角度反射。

拾取反射器 70 将写入射光束 102 引向光学调制器 72。在一个实施例中，光学调制器 72 是声光调制器。光学调制器 72 用于交替地接入写入射光束 102 以曝光光学衬底 54，并且在曝光之间切断该写入射光束 102。写入射光束 102 的这种调制形成周期性或非周期性的级联结构 52。这里更详细地描述结构 52 的形成。然后，将已调制的写入射光束 102 供给反射器 74，其随后将写入射光束 102 朝反射器 78 引导。然后，反射器 78 将写入射光束 102 引向分束器 80。

参考入射光束 104 透过拾取反射器 70 到达反射器 76。对反射器 76 进行定位，从而随后使参考入射光束 104 朝反射器 78 下游的分束器 80 引导。当参考入射光束 104 到达分束器 80 时，参考入射光束 104 在与写入射光束 102 基本上相同的平面内垂直移动离开写入射光束 102，如图 3B 中所示。应该注意，最终基本上在同一平面内向分束器 80 提供写入射光束 102 和参考入射光束 104 的这些光学部件仅仅是示范性的。在不背离本发明的精神和范围的情况下，可以用能够在分束器 80 处接收光束并且输出基本上同一平面内的两个入射光束的任何光学元件来代替此前示出和描述的那些光学元件。

分束器 80 将写入射光束 102 分成两个写光束，即第一写光束 110 和第二写光束 112。分束器 80 也将参考入射光束 104 分成两个参考光束，即第一参考光束 114 和第二参考光束 116。在一个实施例中，分束器 80 是相位掩模，其将入射光束分成功率级相等的两个衍射级，即+1 和-1。这样，将写入射光束 102 分为：使一半写入射光束 102 从相位掩模透射而作为第一写光束 110，而另一半写入射光束 102 从相位掩模透射而作为第二写光束 112。类似地，将参考入射光束 104 分为：使其一半从相位掩模透射而作为第一参考光束 114，而另一半从相位掩模透射

而作为第二参考光束 116。根据设计要求，其他比例的透射光也是可以的。在可选择的实施例中，分束器 80 是 50/50 分束器，其等量地分开每个入射光束。

反射器 82 将第一写光束 110 和第一参考光束 114 分别朝光学衬底 54 和光束组合器 94 引导。类似地，反射器 84 将第二写光束 112 和第二参考光束 116 分别朝光学衬底 54 和光束组合器 94 引导。光束组合器 94 可以是例如相位掩模、玻璃楔块、分束立方体等。在一个实施例中，反射器 82 和 84 具有平坦的入射面。在另一个实施例中，反射器 82 和 84 具有抛物线形的入射面。第一写光束 110 和第二写光束 112 在光学衬底 54 上的入射角基于第一写光束 110 在反射器 82 上以及第二写光束 112 在反射器 84 上的入射点和入射角。第一写光束 110 和第二写光束 112 以光束间半角 θ 朝光学衬底 54 反射。第一写光束 110 和第二写光束 112 在相交位置 118 处相交，并在光学衬底 54 处彼此干涉。曝光引起光学衬底 54 的折射率永久增大，根据曝光图案形成了结构 52（通常称作光纤芯中的光栅）。所形成的结构的周期由方程式 1 来描述。

为了形成光学衬底 54 中的结构 52，必须使光学衬底 54 相对于第一写光束 110 和第二写光束 112 的相交位置 118 移动。光学衬底支架 90 和 92 保持光学衬底 54，并连接于工作台 95。工作台 95 如图所示横向地移动从而使光学衬底 54 相对于相交位置 118 移动。当光学衬底 54 相对于相交位置 118 移动时，光学调制器 72 交替地接入写入射光束 102 以曝光光学衬底 54 并且在曝光之间切断写入射光束 102。写入射光束 102 的这种调制形成了周期性或非周期性的级联结构 52。结构 52 的各次曝光之间的间隔基于写入射光束 102 的调制频率和工作台 95 的平移的速度频率。

在结构 52 的制造过程中，必须精确地控制光学衬底 54（和工作台 95）的平移和定位。为了实现这种精确控制，在工作台 95 上的第一

参考光束 114 和第二参考光束 116 的相交位置 119 处设置光束组合器 94。在一个实施例中，光束组合器 94 是相位掩模。相交位置 119 从第一写光束 110 和第二写光束 112 的相交位置垂直地移位，并且处于与第一写光束 110 和第二写光束 112 的相交位置相同的平面内。这样，当光学衬底 54 相对于第一写光束 110 和第二写光束 112 的相交位置 118 平移时，光束组合器 94 相对于第一参考光束 114 和第二参考光束 116 的相交位置 119 平移。

当第一参考光束 114 和第二参考光束 116 在光束组合器 94 处的相交位置 119 相交时，它们复制由第一写光束 110 和第二写光束 112 在光学衬底 54 的相交位置 118 处所生成的干涉图案。光束组合器 94 将参考光束 114 和 116 重新组合成重组的参考光束或者编码光束。重组参考光束包括具有条纹图的条纹 120，其垂直于该重组参考光束的传播方向而定位。当重组参考光束朝检测器 96 传播时基本上保持该条纹图。

检测器 96 相对于光束组合器 94 定位，从而使检测器 96 中的狭缝 122 接收这些条纹 120。位于狭缝 122 后面的强度检测器监控重组参考光束的条纹 120 的强度。条纹 120 的强度随光束组合器 94 的平移而改变。当相位掩模用作光束组合器 94 时，重组参考光束中的条纹 120 的强度按照将相位掩模平移一个相位掩模间隔（Λ）所花费时间的两倍的速度进行振荡。

图 4 是显示出作为相位掩模位置的函数的由相位掩模产生的条纹 120 的强度的曲线图。由于光束组合器 94 安装到工作台 95 上，并且按照与光学衬底 54 相同的速度进行平移，因此通过测量条纹 120 在透过狭缝 122 时的强度就能够确定有关光学衬底 54 的位置信息。在一个实施例中，利用光电二极管来测量条纹 120 的强度。

将条纹 120 的强度测量结果供给控制器 98。然后，控制器 98 基于条纹 120 的强度来计算重组参考光束的相位。控制器 98 利用重组参

考光束的相位来确定光学衬底 54 相对于相交位置 118 的位置和运动方向。当控制器 98 确定光学衬底 54 的位置和运动方向时，控制器 98 根据确保正确制造结构 52 的需要来调整工作台 95 的位置和方向。由于相位掩模具有在相位掩模条纹之间非常良好的间隔精度（通常是±1 皮米），因此可获得光学衬底 54 的位置的亚纳米（sub-nanometer）分辨率。

图 5 是根据本发明另一实施例的包括检测器 96a 的系统 50a 的一部分的顶视图。检测器 96a 包括光纤 142 和光电倍增管（PMT）144。图 5 中还示出了分束器 80、反射器 82 和 84，以及光束组合器 94。分束器 80 将参考入射光束 104 分成两个参考光束，即第一参考光束 114 和第二参考光束 116。反射器 82 将第一参考光束 114 朝光束组合器 94 引导，反射器 84 将第二参考光束 116 朝光束组合器 94 引导。当第一参考光束 114 和第二参考光束 116 在光束组合器 94 处相交时，它们复制由第一写光束 110 和第二写光束 112 在光学衬底 54 处生成的干涉图案。光束组合器 94 将参考光束 114 和 116 重新组合成重组参考光束或编码光束。该重组参考光束包括具有条纹图的条纹 120，其垂直于重组参考光束的传播方向而定位。当重组参考光束朝检测器 96a 传播时基本上保持该条纹图。

检测器 96a 相对于光束组合器 94 定位，从而使检测器 96a 的光纤 142 接收条纹 120。当光纤 142 在有紫外光存在并且条纹 120 到达光纤 142 时，光纤 142 发荧光。在一个实施例中，用诸如锗的掺杂剂或者诸如铥的稀土掺杂剂对光纤 142 进行掺杂，以便于在存在紫外光的情况下发出荧光。条纹 120 的强度随光束组合器 94 的平移而改变。当相位掩模用作光束组合器 94 时，在重组参考光束中的条纹 120 的强度按照平移相位掩模一个相位掩模间隔（Λ）所花费时间的两倍的速度进行振荡，如图 4 中所示。由于光束组合器 94 安装到工作台 95 上，并且按照与光学衬底 54 相同的速度进行平移，因此能够通过测量条纹 120 在光纤 142 中发荧光时的强度来确定有关光学衬底 54 的位置信息。

PMT144 光学耦合到光纤 142 的芯，并遮住杂散光以感测光纤 142 中的荧光强度。将条纹 120 的强度测量结果供给控制器 98。然后，控制器 98 基于条纹 120 的强度来计算重组参考光束的相位。控制器 98 利用重组参考光束的相位来估计光学衬底 54 相对于写光束 110 和 112 的相交位置的位置和运动。当控制器 98 确定光学衬底 54 的位置和运动方向时，控制器 98 根据确保正确制造结构 52 的需要来调整工作台 95 的位置和方向。

图 6 示出根据本发明另一个实施例的检测器 96b。检测器 96b 包括第一光纤 152、第二光纤 154、第一 PMT156，和第二 PMT158。图 6 中还示出了在透过光束组合器 94 之后的来自重组参考光束的条纹 120。检测器 96b 相对于光束组合器 94 定位，从而使检测器 96b 的光纤 152 和 154 接收来自光束组合器 94 的信号。在一个实施例中，光束组合器 94 是相位掩模，光纤 152 和 154 被设置为使每根光纤的信号延迟一定时间量，该时间量与工作台 95 平移四分之一相位掩模周期（Λ/4）的平移时间相对应。当光纤 152 和 154 在有紫外光存在并且条纹 120 到达光纤 152 和 154 时，光纤 152 和 154 发出荧光。在一个实施例中，用诸如锗的掺杂剂或者诸如铥的稀土掺杂剂对光纤 152 和 154 进行掺杂以便于在存在紫外光的情况下发出荧光。条纹 120 的强度随光束组合器 94 的平移而改变。当相位掩模用作光束组合器 94 时，重组参考光束中的条纹 120 的强度按照平移相位掩模一个相位掩模间隔（Λ）所花费时间的两倍的速度进行振荡，如图 4 中所示。由于光束组合器 94 安装到工作台 95 上，并且按照与光学衬底 54 相同的速度进行平移，因此通过测量条纹 120 在光纤 152 和 154 中发荧光时的强度就能够确定有关光学衬底 54 的位置信息。

PMT156 光学耦合到第一光纤 152 的芯，并遮住杂散光以感测在第一光纤 152 中的荧光强度。PMT158 光学耦合到第二光纤 154 的芯，并遮住杂散光以感测在第二光纤 154 中的荧光强度。将条纹 120 的强

度测量结果供给控制器 98。由于第一光纤 152 相对于第二光纤 154 定位，因此 PMT156 感测到的信号的相位是将 PMT158 感测到的信号的相位移动 90° 的信号。在对 PMT156 和 PMT158 感测到的强度信号进行标准化之后，获得正弦和余弦项。特别是，标准化的 PMT156 的强度信号是

$$S_1 = I \sin \frac{\pi x}{\Lambda}$$ 方程 2

标准化的 PMT158 的强度信号是

$$S_2 = I \cos \frac{\pi x}{\Lambda}$$ 方程 3

其中 I 是重组参考光束的强度，Λ 是用于光束组合器 94 的相位掩模的间隔，x 是光学衬底 54 的当前位置。然后，控制器 98 基于条纹 120 的强度来确定重组参考光束的相位。控制器 98 利用重组参考光束的相位来确定光学衬底 54 相对于写光束 110 和 112 的相交位置的位置和运动方向。当控制器 98 确定了光学衬底 54 的位置和运动方向时，控制器 98 根据确保正确制造结构 52 的需要来调整工作台 95 的位置和方向。

系统 50（及其可选择的实施例）对于制造光学衬底中的结构提供了优于常规系统的优点。例如，利用参考光束 114 和 116 以及光束组合器 94 来控制光学衬底 54 的定位和平移的优点在于写光束 110、112 和参考光束 114、116 通过相同的光学元件（即分束器 80、反射器 82 和 84 等）共用类似的传播路径。因此，在制造环境中常见、可能影响写干涉图案的主要扰动也会影响参考干涉图案。然后，可以检测并校正这些扰动，从而保证光学衬底 54 相对于写干涉图案的适当定位。另一个优点在于光束组合器与写干涉图案极接近。一些常规的光学制造系统采用远离该光学衬底定位（如位于工作台的底座）的光束组合器。通过将光束组合器 94 与如在系统 50 中的光学衬底 54 相接近地放置，能够比在常规系统中明显更高精度地测量光学衬底 54 的位置。

调制和写入

为了制造光学衬底 54 中的结构 52，必须使写光束 110 和 112 交替地被接入以曝光光学衬底 54 并且在两曝光之间切断写光束 110 和 112。光学调制器 72 受控制器 98 的控制，其调制写入射光束 102 以适当地记录连续曝光从而在光学衬底 54 中形成周期性或非周期性的级联结构，如结构 52。为了形成结构 52，必须精确地控制写入射光束 102 的调制。为了进行精确控制，根据条纹 120 来确定有关光学衬底 54 的位置信息，并且控制器 98 基于有关光学衬底的位置信息来产生用于控制光学调制器 72 的信号。

图 7 是根据本发明实施例的用于控制光学调制器 72 的调制的模拟光学调制器控制系统 160 的示意图。光学调制器控制系统 160 包括光学调制器检测块 72、控制器 98，以及光束组合器压电驱动电路 161。控制器 98 包括处理器 162、检测块 163、乘法器 164、加法器 165 和乘法器 166。

处理器 162 向乘法器 164、加法器 165、乘法器 166 和光束组合器压电驱动电路 161 提供输入。特别是，处理器 162 向乘法器 164 提供变迹函数信号 A(x)、向加法器 165 提供 DC 偏移信号、向乘法器 166 提供 DC 项加已调制的干涉项，即 I+V(t)，并向光束组合器压电驱动电路 161 提供光束组合器平移工作台控制信号 P(x)（在这里更详细地描述）。检测块 163 代表此前描述的任一种条纹检测器（例如图 3A 和 3B 中的检测器 96、在图 5 中的检测器 96a 和图 6 中的检测器 96b），检测块 163 向乘法器 164 提供输入。乘法器 164 的输出向加法器 165 提供输入，且加法器 165 的输出向乘法器 166 提供输入。乘法器 166 的输出向光学调制器 72 提供输入。

检测块 163 基于条纹 120 的强度向乘法器 164 提供信号。对于检测器 96（图 3A 和 3B）和检测器 96a（图 5）来说，直接向乘法器 164 提供强度测量信号（I）。对于检测器 96b（图 6）来说，根据上面的方

程式 2 和 3 来确定强度信号，其中强度 I 是

$$I = \frac{S_1}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}$$ 方程 4

然后将检测块 163 的强度信号与变迹函数 A(x)相乘，在一个实施例中，该变迹函数是缓慢变化的包络函数。变迹函数为光学衬底 54 中曝光的折射率调制提供上限和下限。在一个实施例中，变迹函数是单值、高斯或正弦变迹函数。然后由加法器 165 将 DC 偏移增加到乘法器 164 的输出。该 DC 偏移使变迹函数移动，从而使变迹函数的包络的底部对应于光纤 54 的初始折射率。在 DC 偏移之后，将得到的信号供给乘法器 166 使其与光学衬底 54 中的所希望的折射率调制相乘。在一个实施例中，折射率调制是 DC 项加已调制的干涉项（即 I+V(t)）。乘法器 166 的输出是驱动光学调制器 72 的信号。

在系统 50 中，反射器 82、84 和光学衬底 54 对准，且光束 100 的波长决定结构 52 的谐振波长（参见方程式 1）。可以移动结构 52 的谐振波长（在少数几纳米内）而不会明显降低结构 52 的强度。产生这种移动的一种方式是在制造结构 52 的过程中按照与光束组合器 94 不同的速度平移光学衬底 54。为了产生这种移动，可以将光束组合器安装在单独的压电平移工作台上。

图 8A 是用于促进光学衬底 54 和光束组合器 94 之间的相对运动的线性工作台组件 170 的顶视图，图 8B 是其侧视图。线性工作台组件 170 包括光学衬底支架 90 和 92、光束组合器 94 和工作台 95。另外，线性工作台组件包括安装在工作台 95 上的光束组合器平移工作台 172。光束组合器平移工作台 172 具有安装在其上的光束组合器 94。在一个实施例中，光束组合器平移工作台 172 是压电工作台。利用安装在光束组合器平移工作台 172 上的光束组合器 94，可以在光学衬底 54 和光束组合器 94 之间产生精确地控制的相对运动。即，当工作台 95 使光学衬底 54 相对于写光束 110 和 112 的相交位置移动时，光束组合器平移

工作台 172 可以按照相对于光学衬底 54 的不同速度移动光束组合器 94。由于该相对运动，改变了由系统 50 检测和处理的条纹 120 的调制，并且结构 52 的谐振波长发生移动。

线性工作台组件 170 也能够在结构 52 中产生线性调频的（chirped）或依赖于位置的周期。为了产生线性调频结构，使光学衬底 54 和光束组合器 94 之间保持控制良好的加速度。例如，在制造结构 52 的过程中，通过保持光学衬底 54 和光束组合器 94 之间的恒定加速度来实现线性调频。对于谐振波长移动和线性调频来说，控制器 98 向压电驱动电路 161（图 7）提供光束组合器平移工作台控制信号 P(x)，从而控制光束组合器平移工作台 172 的运动。P(x)的值取决于相交位置 118 处的干涉条纹和光学衬底 54 之间的相对定位。

图 7 中示出的用于控制光学调制器 72 的模拟系统也可以用数字方式来实现。图 9 是根据本发明实施例的用于控制光学调制器 72 的调制的数字光学调制器控制系统 180 的示意图。在光学调制器控制系统 180 中，控制器 98 从检测器 96b（图 6）的 PMT156 和 PMT158 接收正弦和余弦强度项。可选择的是，检测器 96（图 3A 和 3B）或检测器 96a（图 5）可以提供该强度信号。控制器 98 将 PMT156 和 PMT158 的强度信号数字化，并确定有关光学衬底 54 的位置信息。然后，控制器 98 提供用于对光学调制器 72 进行调制的信号。例如，控制器 98 能够通过下面的函数对光学调制器 72 进行调制：

$$I = 0.5 + 0.5\sin\frac{2\pi x(t)}{\Lambda_s} \qquad \text{方程 5}$$

其中 x(t)是作为时间的函数的光学衬底 54 的当前位置，且 Λ_s 是结构 52 的期望周期。方程式 5 中示出的函数代表均匀的结构，其中由恒定值的包络来限制折射率调制。

如果需要，可以将变迹函数引入到调制函数中，所述变迹函数如单值、高斯或正弦变迹。在一个实施例中，变迹函数是缓慢改变的包

络函数，其为光学衬底 54 中曝光的折射率调制提供上限和下限。例如，通过改变方程式 5 的第二项的系数来实现变迹 A(x)。在任何给定位置具有所希望的变迹的光学调制器 72 的新调制函数是：

$$I = 0.5 + A(x)\sin\frac{2\pi x(t)}{\Lambda_s} \qquad \text{方程 6}$$

另外，在该实施例中，利用线性工作台组件 170（图 8A 和 8B）产生在光学衬底 54 和光束组合器 94 之间的相对运动，从而实现谐振波长移动或线性调频。在写过程中，通过改变作为光学衬底 54 的位置函数的结构 52 的周期，能够在结构 52 中产生线性调频。在上面的例子中，包括变迹函数和线性调频的光学调制器 72 的调制函数是：

$$I = 0.5 + A(x)\sin\frac{2\pi x(t)}{\Lambda_s(x)} \qquad \text{方程 7}$$

其中 $\Lambda_s(x)$是作为光学衬底 54 的位置函数的结构 52 的期望周期。

如上所述，在制造结构 52 的过程中，光学衬底 54 按照与光束组合器 94 不同的速度平移，从而产生结构 52 的谐振波长的移动。即，当每个条纹 120 移位时，可能会出现结构 52 的连续曝光的重叠。这导致相长和相消干涉效应，所述效应致使结构 52 的谐振波长也发生移位。结构 52 的谐振波长发生这种移位的缺点是结构 52 的幅度调制或强度降低。结构 52 的强度降低称作失谐。

失谐的影响基于光束 100 的尺寸。当光束 100 较大时，失谐的不利结果（即结构 52 的强度降低）明显增大。这是因为随着光束 100 的尺寸增大，每次曝光写入的条纹的数量也增多。由于每次曝光写入更多的条纹，因此由于失谐移动所引起的相消干涉涉及（washout）更大的面积。

图 10 是根据本发明实施例的可调谐干涉仪 190 的顶视图，该可调谐干涉仪用于防止因光学衬底 54 中结构 52 的谐振波长移位而引起的

失谐。可调谐干涉仪 190 包括反射器 82 和 84、线性调频的相位掩模 192，以及线性调频的相位掩模工作台 194。线性调频的相位掩模 192 安装在线性调频的相位掩模工作台 194 上。

线性调频的相位掩模 192 取代系统 50 的分束器 80，以便于在制造结构 52 的过程中改变写光束 110 和 112 的相交位置 118 处的周期。线性调频的相位掩模 192 是这样一种相位掩模，其周期作为该相位掩模相对于写入射光束 102 的位置的函数而发生改变。线性调频的相位掩模工作台 194 能够使线性调频的相位掩模 192 平行于和横向于写入射光束 102 而移动。线性调频的相位掩模 192 相对于写入射光束 102 的平移使第一写光束 110 入射在反射器 82 上和第二写光束 112 入射在反射器 84 上的入射点发生移位。但是，相交位置 118 必须在光学衬底 54 上保持固定以产生结构 52。这样，线性调频的相位掩模 192 基于其线性调频按比例地平行于和横向于写入射光束 102 而移动，从而保持光学衬底 54 上的相交位置 196。

当线性调频的相位掩模工作台 194 平移时，写光束 110 和 112 在相交位置 118 处的相交角发生变化。按照布拉格方程（方程式 1），这改变了干涉图案 118 处的周期性，并因此改变了写入到光学衬底 54 的结构 52 的周期性。线性调频的相位掩模 192 可以被移动到预定位置以形成具有特定周期性的结构 52。可选择的是，通过相对于写入射光束 102 而移动线性调频的相位掩模 192 的同时使光学衬底 54 保持静止，可以在光学衬底 54 中的同一个物理位置处对具有不同周期的多个结构 52 进行多路传输，由此反射多个波长。通过按照这种方式调制干涉图案 118 的周期（由此调整结构 52 的谐振波长），可以在没有明显失谐的情况下制造较大范围的结构周期。

快/慢分量速度校正

在采用旋转工作台使光学衬底相对于写干涉图案而匀速移动的系统中，利用旋转工作台的惯性来保持速度均匀性（参见例如题为“Methof

for Fabrication of In-Line Optical Waveguide Index Grating of Any Length”的美国专利US5912999，该专利在此引入作为参考）。线性工作台不具有保持恒久运动的惯性，并且由于其与系统的其他部件极接近而对外部扰动更敏感。这些扰动可能来自各种源，如系统中的高频部件。除了机械限制之外，线性工作台的响应速度（带宽）的缺乏也限制了除去这些扰动的能力。而且，所希望的是保持速度均匀性从而使速度误差最小，该速度误差导致了结构中多次曝光之间的位置误差。

在本发明的将光束组合器94与校正机构相结合的一个实施例中，能够用工作台95来实现包括旋转工作台的常规系统的速度控制。为了实现这种速度控制，在本发明的实施例中，反射器82或84安装在压电驱动元件上。该压电驱动元件是具有高带宽、高分辨率但是具有有限运动范围（即，限于几十微米的全行程）的快速部件，而线性工作台是具有大运动范围的慢速部件。由于压电驱动器的运动速度，该压电驱动元件能够快速补偿由工作台95引起的在光学衬底54中的速度或位置误差。这样，在该实施例中，当控制器98（根据条纹120）确定有关光学衬底54的位置和运动方向时，控制器98不仅调整工作台95以补偿任何速度误差，而且使压电驱动元件能够补偿这些误差。另外，工作台95所引起的在光学衬底54中的速度误差或位置误差可以通过调整写光束的相位或频率来进行校正。

图11是显示出当线性工作台移动时从检测器获得的信号的频率响应的曲线图。对于理想的匀速运动，期待在等于如下比率的频率处的单峰值，其中所述比率是光学衬底的线速度除以与通过两个参考光束相交而生成的图案的半周期去除的比率相等的频率处的。曲线202示出包括仅用于移动光学衬底的线性工作台的系统的速度均匀性。曲线204示出在采用工作台95和压电驱动元件的系统中的系统50的速度均匀性，所述工作台95用于移动光学衬底54，所述压电驱动元件用于控制反射器82或84的运动以补偿由工作台95引起的速度或位置误差。如从图中看到的，单独利用线性工作台（曲线202）产生了多种频

率分量，其说明速度均匀性差。因此，写干涉图案的连续曝光之间的良好相位一致是很困难的，这样在光学衬底 54 中形成非常弱的结构或没有形成结构。另一方面，当结合压电驱动元件来控制反射器 82 或 84 的运动从而补偿由工作台 95 引起的速度或位置误差时，仅仅产生单一频率分量（曲线 204），其说明速度均匀性好。

除了改进系统 50 的速度均匀性之外，移动反射器 82 或 84 的压电驱动元件也可以任选地去掉光学调制器 72。由于压电驱动元件能够非常快速的运动，因此连接于压电驱动元件的反射器能够将写干涉图案移动到光学衬底 54 上的下一个适当位置，而不会明显地波及（washout）曝光的已调制折射率。而且，当光学衬底 54 移动时，压电驱动元件也能够移动，从而保持写干涉图案锁定在光学衬底 54 上的固定位置。通过增加光学衬底 54 上的固定位置处的曝光时间，增大了结构 52 中的已调制折射率的幅度。并且，将每次曝光快速定位在光学衬底 54 上的能力可以减少 DC 或平均曝光时间（在结构 52 的周期上求平均值）。由于 DC 或平均曝光时间减少，可以更有效地利用光学衬底 54 中的折射率变化，其导致结构 52 中的耦合强度的增强。如果 DC 曝光对例如实现变迹是必需的，那么控制器 98 能够控制工作台 95 和压电驱动元件以提供光纤 54 的匀速与不连续运动的混合。通过调整 DC 曝光的持续时间，几乎能够实现任何变迹。

二维结构

在此之前描述的系统 50 及其各个可选择的实施例已经描述了关于通过使光学衬底相对于干涉图案一维地平移来制造光学衬底中的结构。另外，也可以利用光束组合器结合制造系统来制造二维周期性和非周期性结构，如线栅偏振器、光束组合器、抗反射蛾眼图案、平面波导光栅、光子晶体设备等。为此，可以使光学衬底相对于写光束 110 和 112 的相交位置进行二维平移。当相对于写光束 110 和 112 的相交位置扫描光学衬底时，为了获得有关光学衬底的位置信息，可以相对于参考光束 114 和 116 的相交位置来扫描光束组合器。

图 12 是与系统 50 结合使用的用于制造二维衬底 212 中的结构的平移系统 210 的平面图。平移系统 210 包括定位工作台 211、二维衬底 212 和光束组合器 214。二维衬底 212 和光束组合器 214 连接于定位工作台 211。定位工作台 211 使二维衬底 212 相对于写光束 110 和 112 的相交位置 216 进行二维移动。类似的是，定位工作台 211 使光束组合器 214 相对于参考光束 114 和 116 的相交位置 218 进行二维移动。在该实施例中，光束组合器 214 的尺寸能够基本上类似于二维衬底 212 的尺寸，从而保证当结构制造至二维衬底 212 的边缘时光束组合器 214 容纳相交位置 218。

在制造二维光学衬底 212 中的结构的过程中，能够精确地控制二维光学衬底 212（和定位工作台 211）的平移和定位。利用光束组合器 214 来控制位置工作台 211 的二维运动的方法与如参考图 3A 和 3B 描述的实施例中控制工作台 95 进行一维运动的方法类似。例如，当第一参考光束 114 和第二参考光束 116 在光束组合器 214 的相交位置 218 处相交时，它们复制第一写光束 110 和第二写光束 112 在二维光学衬底 212 的相交位置 216 处生成的干涉图案。光束组合器 214 将参考光束 114 和 116 重新组合成重组参考光束或编码光束。重组参考光束包括具有条纹图的条纹 120，其垂直于重组参考光束的传播方向。当重组参考光束朝检测器（例如，图 3A 和 3B 中的检测器 96、图 5 中的检测器 96a，以及图 6 中的检测器 96b）传播时，基本上保持该条纹图。

检测器相对于光束组合器 214 定位（如图所示，例如在图 3A 和 3B 中），以接收条纹并且监控重组参考光束的条纹强度。条纹强度随光束组合器 214 的平移而改变。然后将条纹的强度测量结果供给控制器。控制器基于条纹的强度来计算重组参考光束的相位。控制器利用重组参考光束的相位来确定二维光学衬底 212 相对于写光束 110 和 112 的相交位置 216 的位置和运动方向。当控制器确定二维光学衬底 212 的位置和运动方向时，控制器根据确保正确制造二维光学衬底 212 中

的期望结构的需要来调整位置工作台 211 的位置和方向。

图 13A 是与系统 50 结合使用的用于制造二维衬底 212 中的结构的可选平移系统 220 的平面图。平移系统 220 包括定位工作台 221、二维衬底 212 和光束组合器 224。二维衬底 212 和光束组合器 224 连接于定位工作台 221。定位工作台 221 使二维衬底 212 相对于写光束 110 和 112 的相交位置 216 进行一维移动，如图 13A 中所示。类似的是，定位工作台 221 使光束组合器 224 相对于参考光束 114 和 116 的相交位置 218 进行一维移动。在该实施例中，沿着二维光学衬底 212 与定位工作台 221 的运动维度横向相交的维度上对写光束 110 和 112 的相交位置 216 进行扫描，从而制造二维光学衬底 212 中的结构。在该实施例中，光束组合器 224 仅需要在一个维度（定位工作台 221 的运动维度）上具有与二维衬底 212 的尺寸基本上类似的尺寸，从而保证在将结构制造到二维衬底 212 的边缘时，光束组合器 224 容纳了相交位置 218。

图 13B 示出了沿二维光学衬底 212 与定位工作台 221 的运动维度横向相交的维度对相交位置 216 进行扫描的一种方法。图 13B 示出了将写入射光束 102 重新定向以透过分束器 80 从而将该写入射光束 102 分成写光束 110 和 112，并且反射器 82 和 84 将写光束 110 和 112 重新定向以在二维光学衬底 212 的相交位置 216 处相交。平移系统 220 使二维光学衬底 212 相对于如图所示的相交位置 216 而平移。为了沿着与平移系统 220 的运动方向横向相交的方向来扫描相交位置 216，提供了压电驱动的反射器 230 和 232。根据重新定向写入射光束 102 以适合不同位置处的分束器 80 的需要来移动压电驱动的反射器 230 和 232。因此，写光束 110 和 112 由反射器 82 和 84 反射，并且在二维光学衬底 212 上的不同位置处相交。

在制造光学衬底 212 中的结构的过程中，可以精确地控制二维光学衬底 212（和位置工作台 221）的平移和定位。利用光束组合器 224

控制位置工作台 221 在二维方向上运动的方法与参考图 3A 和 3B 描述的控制工作台 955 在一维方向上运动的方法类似。例如，当第一参考光束 114 和第二参考光束 116 在光束组合器 224 的相交位置 218 处相交时，它们复制了由第一写光束 110 和第二写光束 112 在二维光学衬底 212 的相交位置 218 处生成的干涉图案。光束组合器 224 将参考光束 114 和 116 重新组合成重组参考光束或编码光束。重组参考光束包括具有条纹图的条纹 120，其垂直于重组参考光束的传播方向而定向。当重组参考光束朝检测器 96 传播时基本上保持了该条纹图。在该实施例中，将写入射光束 102 引向压电驱动的反射器 230 和 232，而不将参考入射光束 104 引向所述反射器。由于压电驱动的反射器 230 和 232 没有反射参考入射光束 104，因此当压电驱动的反射器 230 和 232 扫描写入射光束 102 时，其保持静止并且给出了有关二维光学衬底 212 的适当位置信息。

检测器 96 相对于光束组合器 224 而定位，以接收条纹 120 并监控重组参考光束的条纹 120 的强度。可以选择性地采用检测器 96a（图 5）或检测器 96b（图 6）来代替检测器 96。条纹 120 的强度随光束组合器 224 的平移而改变。然后，将条纹 224 的强度测量结果供给控制器。然后，控制器基于条纹的强度来计算重组参考光束的相位。控制器利用重组参考光束的相位来确定二维光学衬底 212 相对于写光束 110 和 112 的相交位置 216 的位置和运动方向。当控制器确定二维光学衬底 212 的位置和运动方向时，控制器根据确保正确制造二维光学衬底 212 中的期望结构的需要来调整位置工作台 221 的位置和方向。

例子

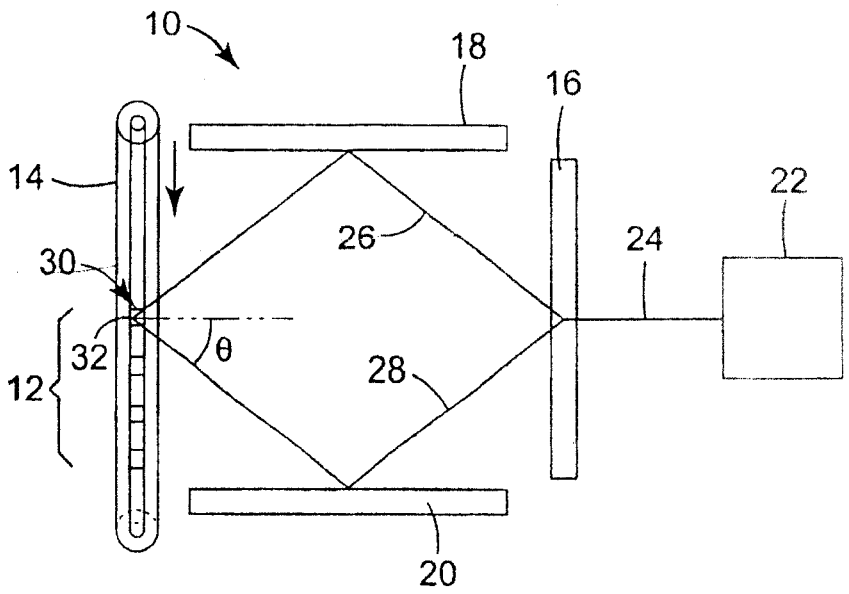
将上面参考图 13A 和 13B 所描述的结构进行组合，从而制造在 UV5（0.03 至 1.5）正性深 UV 光致刻蚀剂中的光栅图案，该光致抗蚀剂可以从 Shiply 公司，Marlborough，MA 得到。向系统 50 提供直径为 1mm 的紫外激光束作为入射光束。使平移工作台 221 以 1mm/sec 的速度相对于相交位置 216 移动。采用压电驱动的反射器 230 和 232 沿着

与平移工作台 221 的平移方向横向相交的该光致刻蚀剂方向对相交位置 216 进行扫描。以每秒 100 次扫描的速度（100Hz）来扫描相交位置 216。然后将衬底旋转 90°，重复利用平移工作台 221 和压电驱动的反射器 230 和 232 的制造过程。在第二次曝光之后，将光致刻蚀剂在 130℃烘烤 90 秒。随后，利用 Microposit MF CD-26 显影剂去掉不需要的光致刻蚀剂，该显影剂可从 Shipley 公司，Marlborough，MA 得到。最后得到的结构在图 14 的照片中示出，该结构是在光致刻蚀剂中形成的周期为 520nm 的光栅图案。根据最终使用的产品结构和应用，可以在该光栅图案上进行其他处理，从而例如使光致刻蚀剂形成图案或者在没有光致刻蚀剂的区域中增加材料（如通过电镀法或沉积法）。

总之，用于制造光学衬底中的结构的常规系统解决了因运送光学衬底的工作台的速度波动而引起的误差。但是，在制造环境中常见的其他扰动导致了等效的位置或速度误差，但这些误差未被检测到并且未得到校正，所述其他扰动如干涉条纹偏移或运动、光学支架的振动、波长波动、写光束的位置波动等。本发明是一种解决了这些和其他问题的用于制造光学衬底中的结构的系统和方法。光学元件产生第一和第二写光束，这两个写光束在光学衬底的第一相交位置处相交。第一相交位置包括由第一和第二写光束产生的条纹图。该光学元件还产生第一和第二参考光束，这两个参考光束在与第一相交位置基本上同一平面内的第二相交位置处相交并且在此位置重新组合。然后，控制器基于从重组的第一和第二参考光束获得的信号来控制光学衬底和条纹图之间的相对定位。在一个实施例中，该控制器包括定位在第二相交位置处的光束组合器，其用于将第一和第二参考光束重新组合成编码光束。该控制器额外地包括基于编码光束而产生检测器信号的检测器。该控制器还包括处理器，其基于检测器信号来确定有关光学衬底的位置信息。该控制器进一步包括用于基于有关光学衬底的位置信息来定位光学衬底的设备。

尽管已经参考优选实施例描述了本发明，但是本领域的技术人员

将认识到可以在不背离本发明的精神和范围的情况下做形式上和细节上的变化。


10
18
16
14
22
26
24
30
32
θ
12
28
20

现有技术

图1

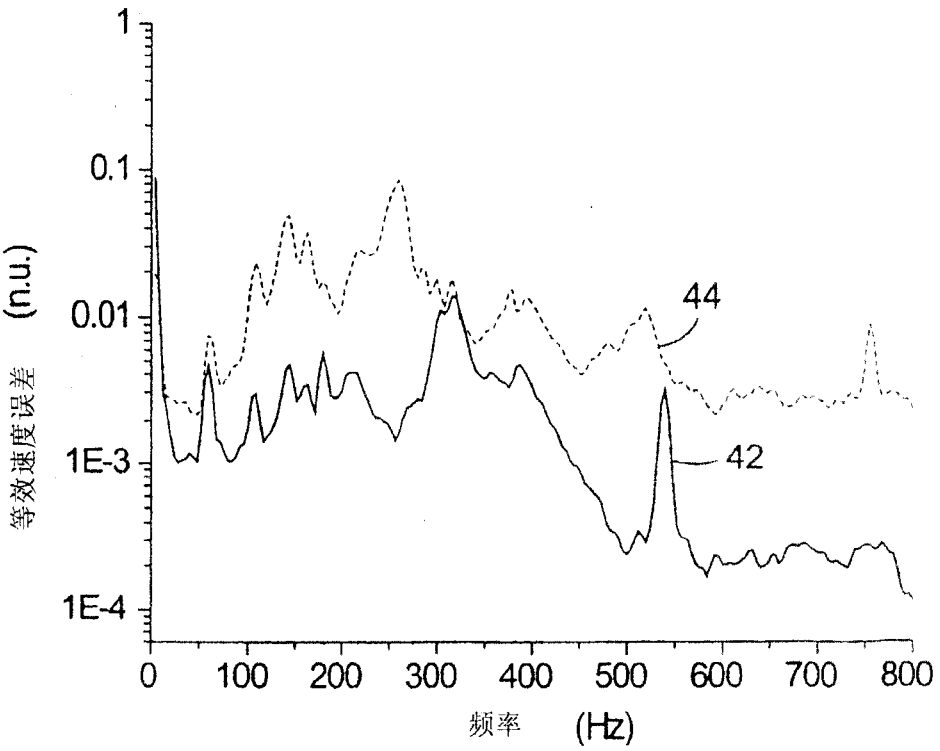

1
0.1
0.01
1E-3
1E-4
等效速度误差 (n.u.)
44
42
0
100
200
300
400
500
600
700
800
频率 (Hz)

图2

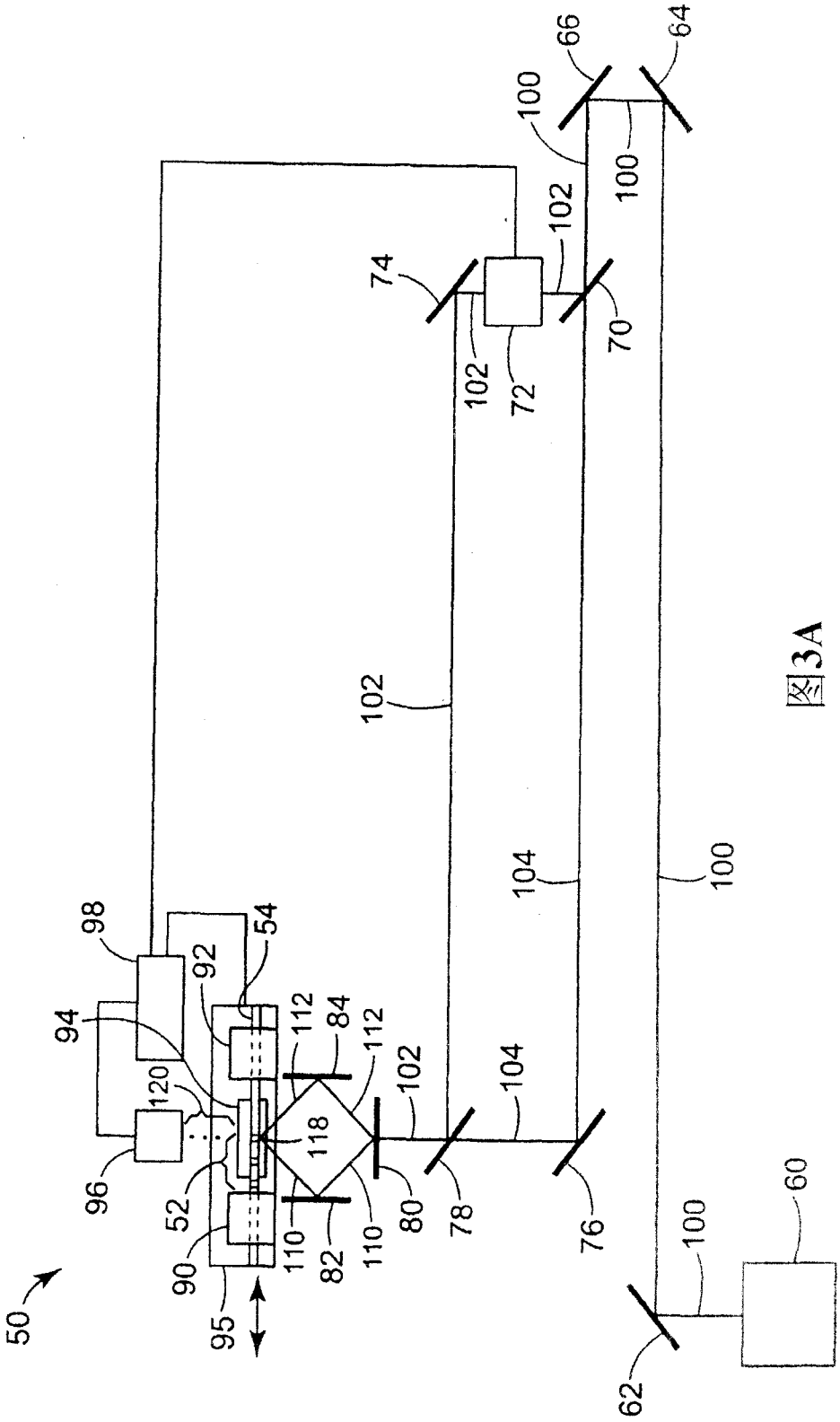

50
52
54
60
62
64
66
70
72
74
76
78
80
82
84
90
92
94
95
96
98
100
102
104
110
112
118
120

图3A

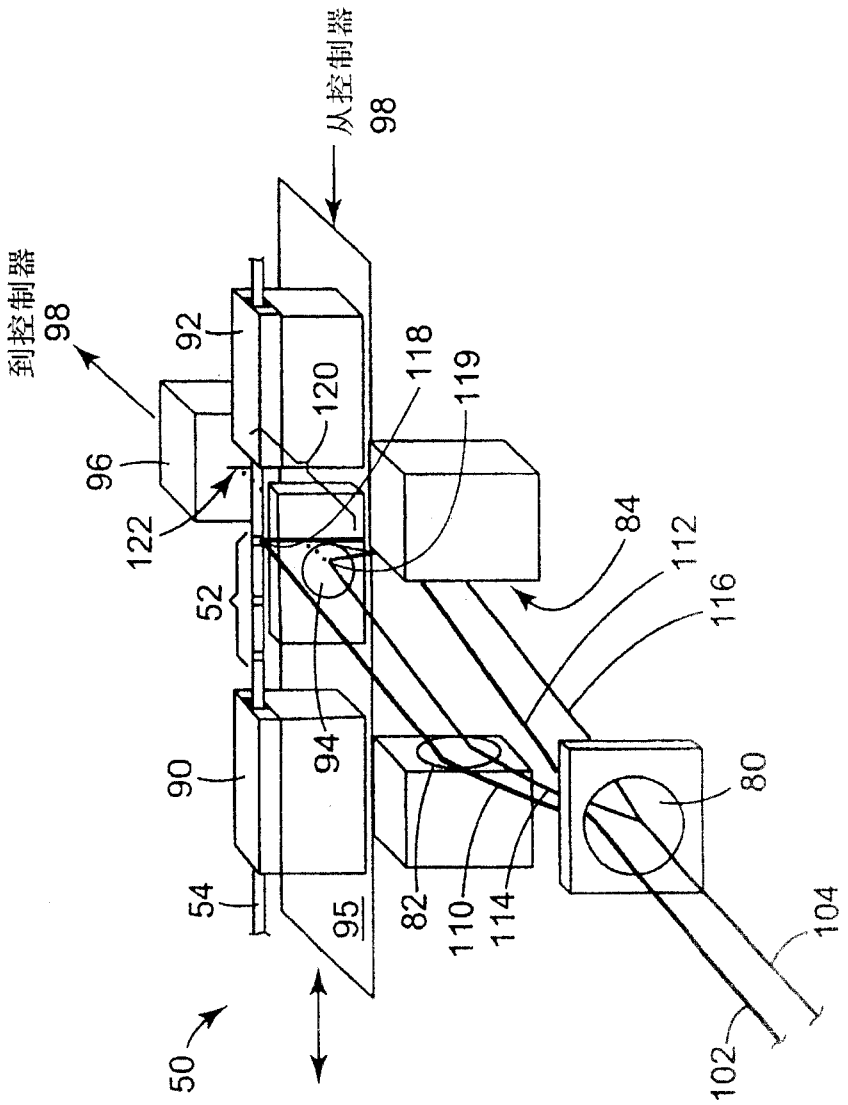

从控制器
98
到控制器
98
92
96
120
118
119
122
52
84
112
116
90
94
80
54
95
82
110
114
104
102
50

图3B

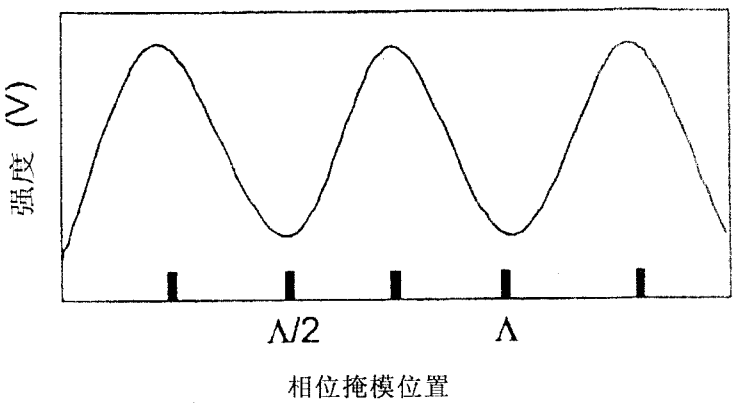

强度 (V)
Λ/2
Λ
相位掩模位置

图4

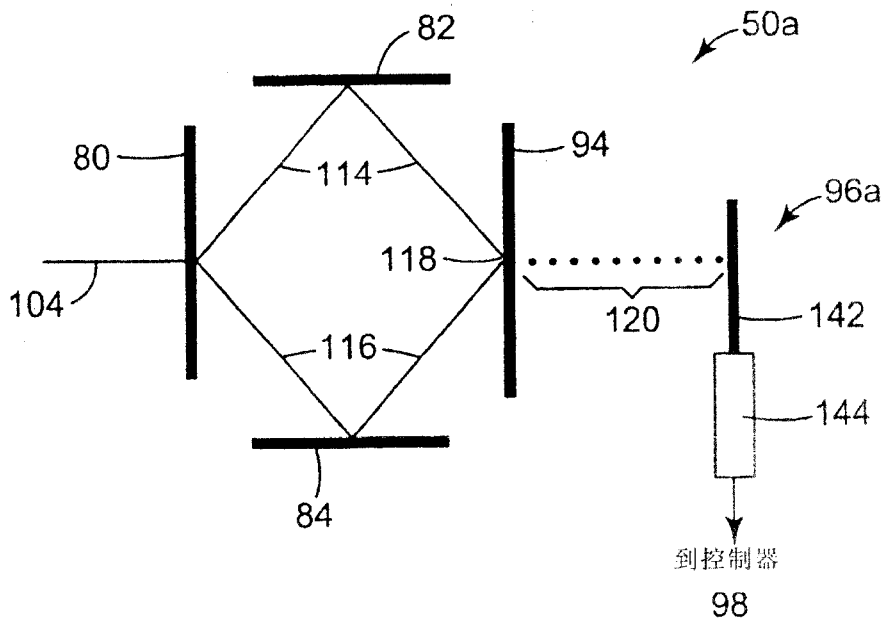

82
50a
80
114
94
96a
118
104
120
142
116
144
84
到控制器
98

图5

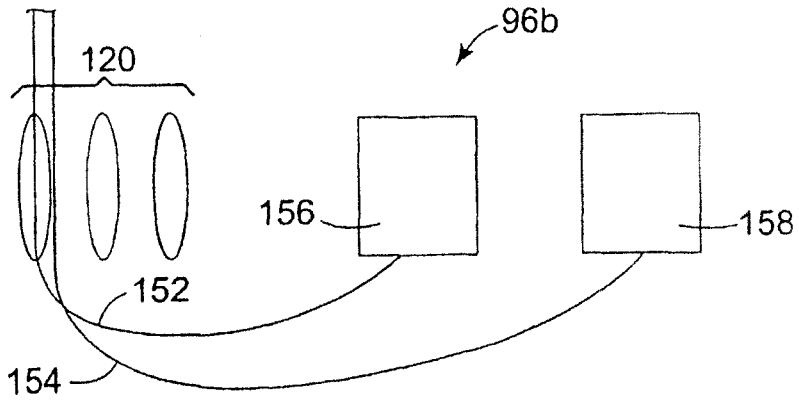

96b
120
156
158
152
154

图6

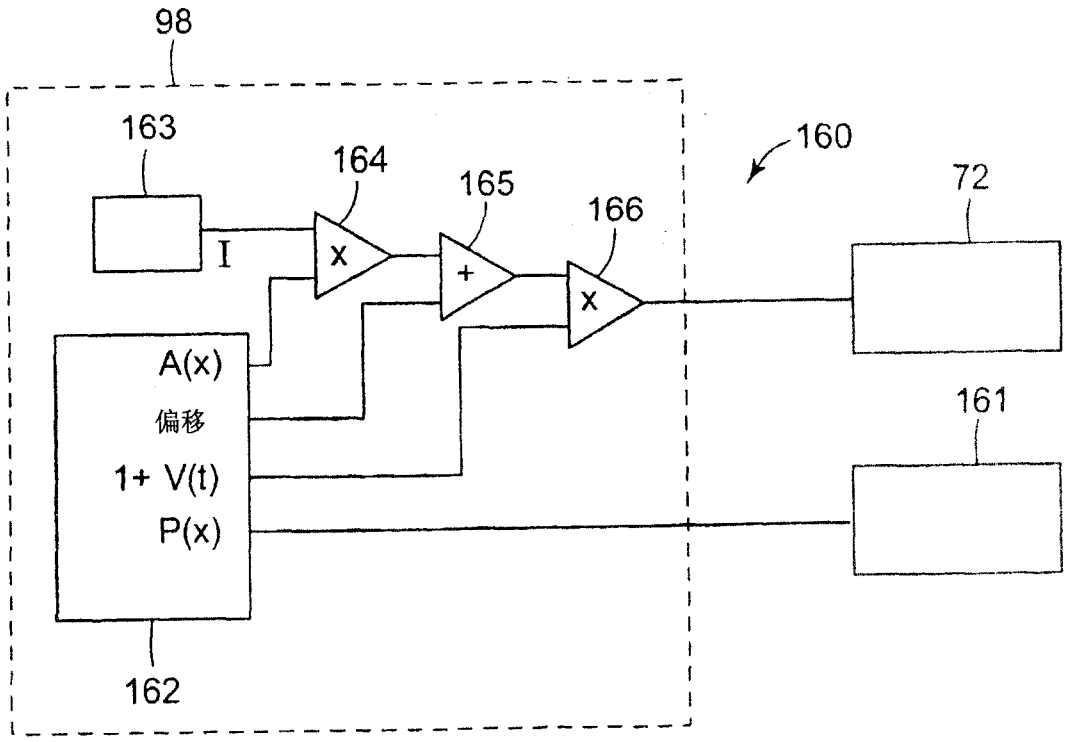

98
163
164
165
166
160
72
I
x
+
x
A(x)
偏移
1+ V(t)
P(x)
161
162

图7

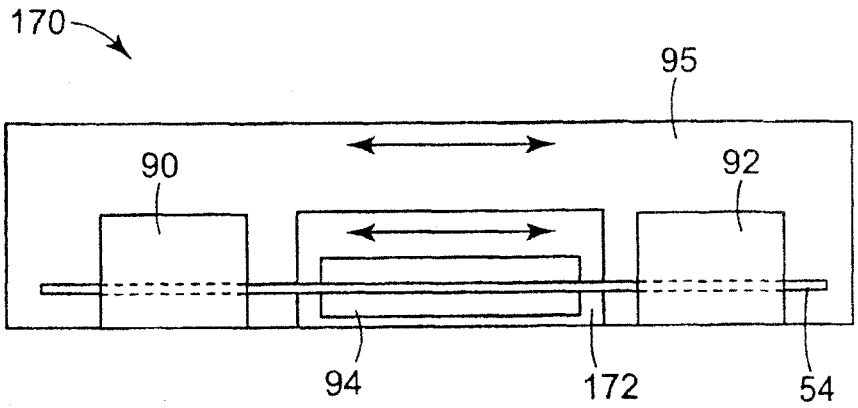


图8A

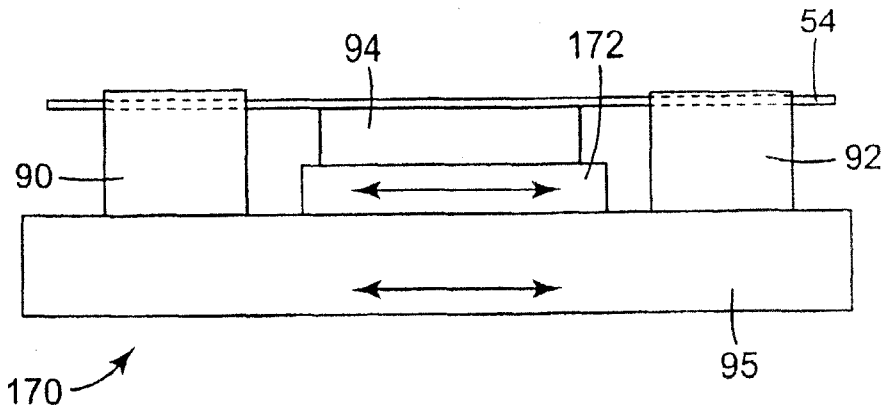


图8B

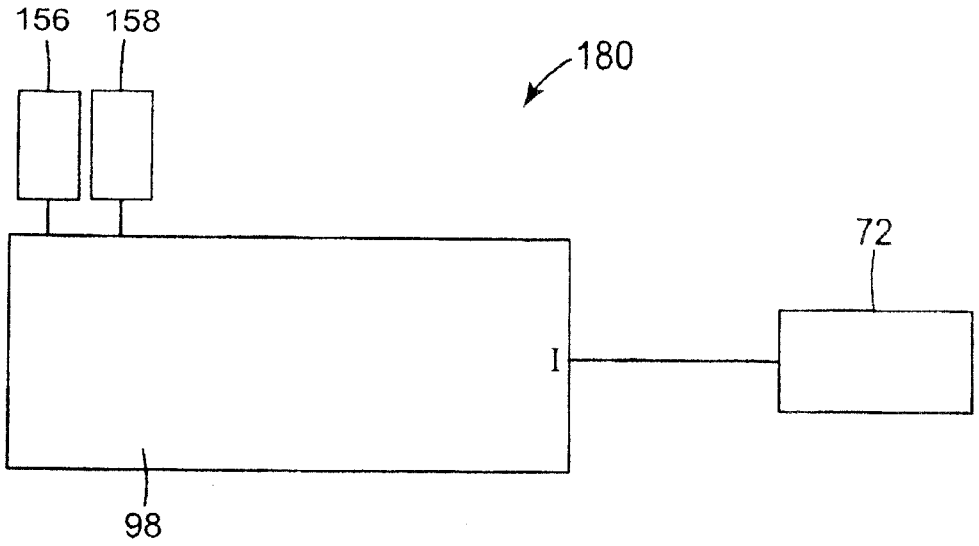


图9

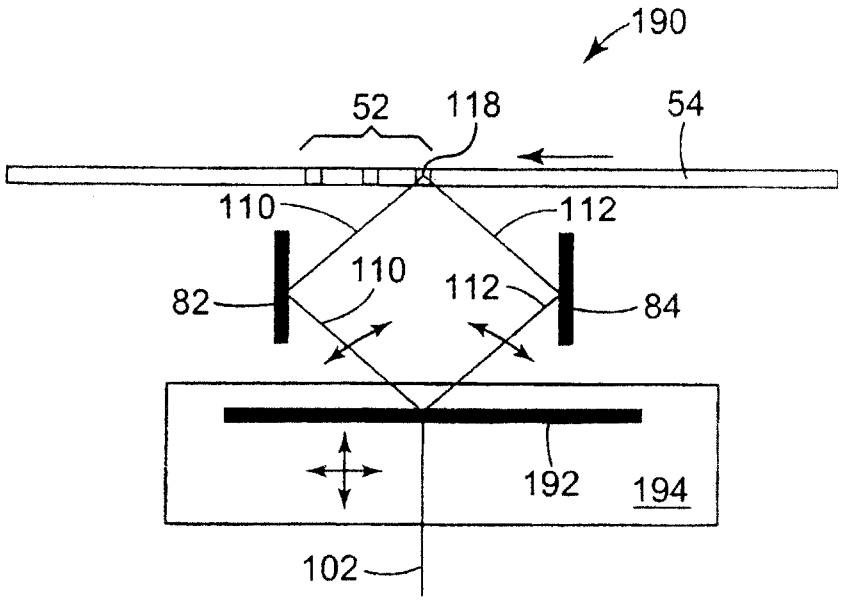


图10

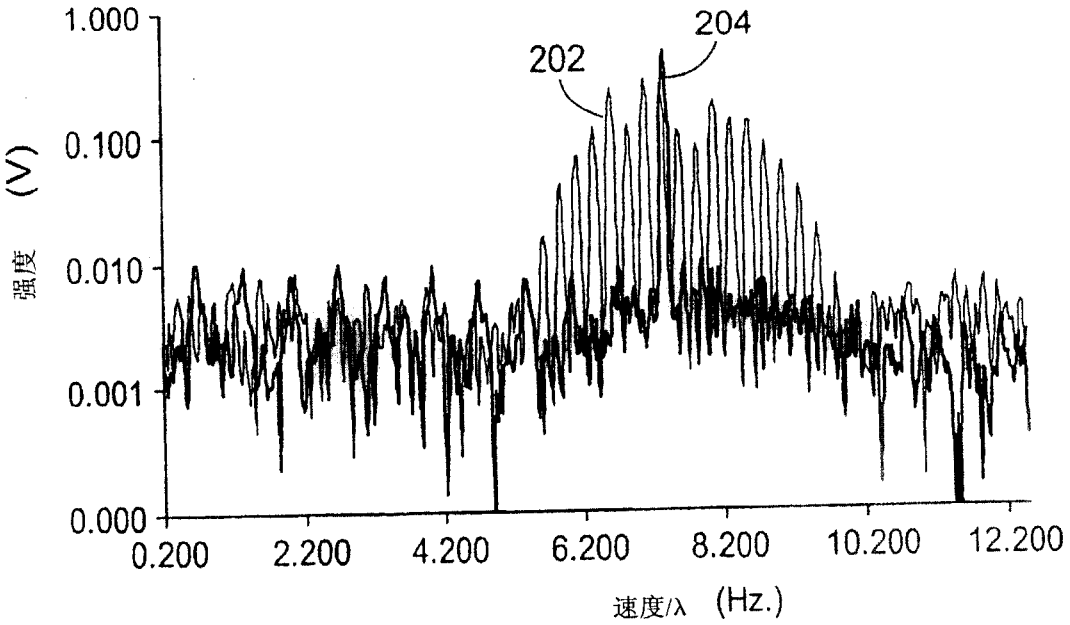

1.000
0.100
0.010
0.001
0.000
强度 (V)
202
204
0.200
2.200
4.200
6.200
8.200
10.200
12.200
速度/λ (Hz.)

图11

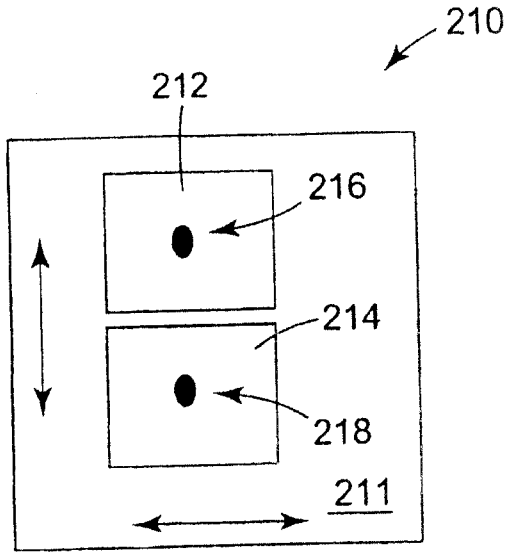

210
212
216
214
218
211

图12

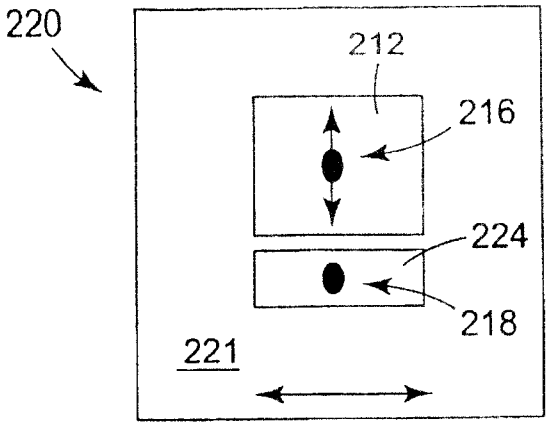


图13A

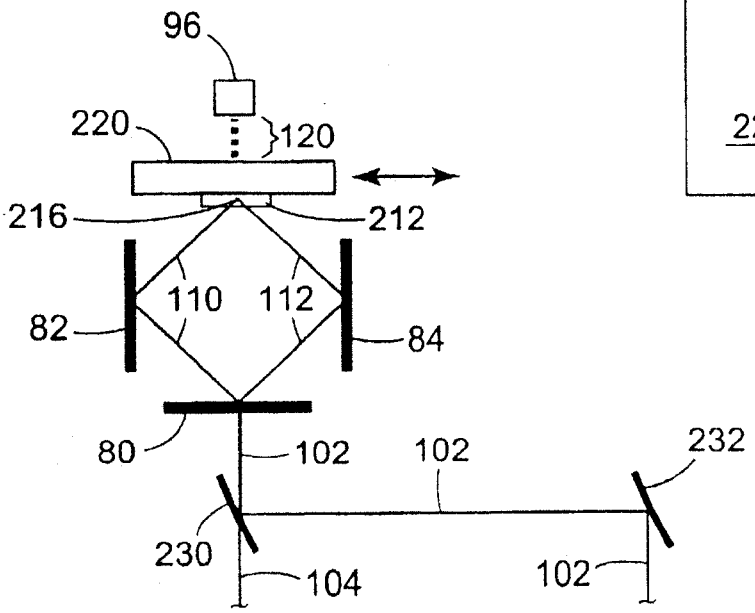


图13B

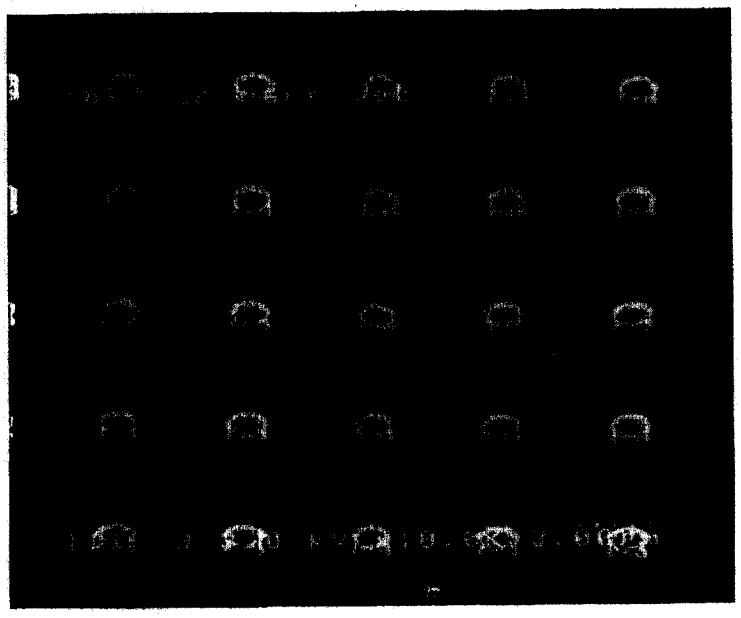


图14