



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102834764 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 23

(21) 申请号 201180013109. 3

(56) 对比文件

(22) 申请日 2011. 03. 09

US 2003/0174376 A1, 2003. 09. 18, 说明书第
0021, 0048-0050 段, 附图 5.

(30) 优先权数据

US 2003/0174376 A1, 2003. 09. 18, 说明书第
0021, 0048-0050 段, 附图 5.

61/311, 966 2010. 03. 09 US

US 2006/0098204 A1, 2006. 05. 11, 说明书
0001、0016 段, 附图 1A.

(85) PCT 国际申请进入国家阶段日

2012. 09. 07

US 5969848 A, 1999. 10. 19, 全文.
US 2005/0286111 A1, 2005. 12. 29, 全文.

(86) PCT 国际申请的申请数据

PCT/US2011/027686 2011. 03. 09

GB 2385946 A, 2003. 09. 03, 全文.

(87) PCT 国际申请的公布数据

W02011/112676 EN 2011. 09. 15

孙方等.《傅里叶变换光谱仪准直性误差检测
技术》.《红外与激光工程》.2006, 第 35 卷 92-96
页.

(73) 专利权人 斯维尔系统

地址 美国加利福尼亚州

审查员 李飞

(72) 发明人 H·哈德达拉 B·A·萨达尼

A·N·哈菲兹 M·梅德哈特

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华

(51) Int. Cl.

G02B 26/08(2006. 01)

G01B 9/02(2006. 01)

G01B 7/14(2006. 01)

权利要求书2页 说明书6页 附图5页

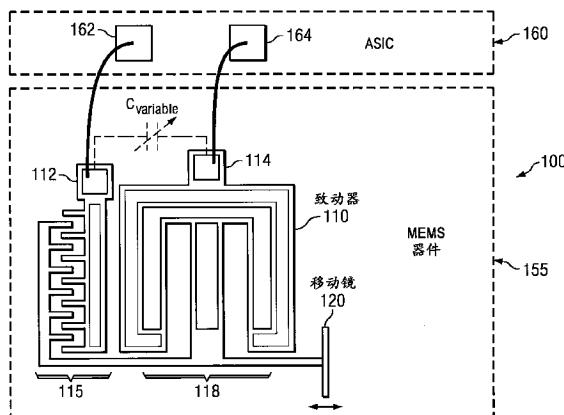
(54) 发明名称

一种确定光学干涉仪中的镜位置的技术

(57) 摘要

一种微机电系统 (MEMS) 干涉仪系统使用电容感测电路确定可移动镜的位置。静电 MEMS 致动器耦合至可移动镜以引起其位移。电容感测电路感测 MEMS 致动器的当前电容并且基于 MEMS 致动器的当前电容确定可移动镜的位置。

B CN 102834764



1. 一种微机电系统 (MEMS) 装置, 包括 :

可移动镜 ;

MEMS 致动器, 耦合至所述可移动镜以引起其位移, 所述 MEMS 致动器具有可变电容 ;

电容感测电路, 耦合至所述 MEMS 致动器以用于感测所述 MEMS 致动器的当前电容 ; 以及

数字信号处理器, 用于基于所述 MEMS 致动器的所述当前电容确定所述可移动镜的位置 ;

其中随着所述可移动镜的移动, 光检测器捕捉光学干涉图案, 以及所述数字信号处理器通过执行所述干涉图案的复数傅里叶变换以补偿镜位置中的任意相位误差。

2. 根据权利要求 1 所述的微机电系统装置, 所述 MEMS 致动器是具有两个板的静电致动器, 所述电容感测电路感测所述两个板之间的当前电容。

3. 根据权利要求 2 所述的微机电系统装置, 其中所述 MEMS 致动器是静电梳状驱动致动器。

4. 根据权利要求 1 所述的微机电系统装置, 其中所述电容感测电路包括用于接收所述当前电容并且产生与所述电容成比例的输出电压的电容至电压转换器。

5. 根据权利要求 1 所述的微机电系统装置, 其中所述电容感测电路包括用于感测所述 MEMS 致动器的所述当前电容的专用集成电路。

6. 根据权利要求 5 所述的微机电系统装置, 其中所述数字信号处理器实施于所述专用集成电路之内。

7. 根据权利要求 5 所述的微机电系统装置, 其中所述专用集成电路进一步生成致动信号以引起所述 MEMS 致动器的运动。

8. 根据权利要求 5 所述的微机电系统装置, 其中所述 MEMS 致动器、所述可移动镜以及所述专用集成电路一起集成在裸片封装上。

9. 一种具有微机电系统 (MEMS) 的干涉仪系统, 包括 :

干涉仪, 包括光学耦合以接收和反射光的可移动镜, 所述干涉仪产生作为所述可移动镜移动的结果的光学干涉图案 ;

MEMS 致动器, 耦合至所述可移动镜以引起其位移, 所述 MEMS 致动器具有可变电容 ;

电容感测电路, 耦合至所述 MEMS 致动器以用于感测所述 MEMS 致动器的当前电容 ; 以及

数字信号处理器, 用于基于所述 MEMS 致动器的所述当前电容确定所述可移动镜的位置, 其中随着所述可移动镜的移动, 光检测器捕捉光学干涉图案, 以及所述数字信号处理器通过执行所述干涉图案的复数傅里叶变换以补偿镜位置中的任意相位误差。

10. 根据权利要求 9 所述的干涉仪系统, 其中所述干涉仪进一步包括 :

分束器, 光学耦合以接收入射光束并且将所述入射光束分成第一干涉光束和第二干涉光束 ;

固定镜, 光学耦合以接收所述第一干涉光束并且将所述第一干涉光束反射回所述分束器以产生第一反射干涉光束 ;

可移动镜, 光学耦合以接收所述第二干涉光束并且将所述第二干涉光束反射回所述分束器以产生第二反射干涉光束 ; 以及

检测器, 光学耦合以检测由于在所述第一反射干涉光束和所述第二反射干涉光束之间的干涉结果产生的所述光学干涉图案 ;

其中所述可移动镜的位移产生在所述第一干涉光束和第二干涉光束之间的、等于 2 倍所述位移的光学路径差。

11. 根据权利要求 10 所述的干涉仪系统，其中所述分束器形成在第一介质的、在所述第一介质和第二介质之间的界面处的第一表面上。

12. 根据权利要求 11 所述的干涉仪系统，其中

所述分束器由在所述第一介质和所述第二介质之间的界面处形成的单个反射和折射表面构成；

所述第一干涉光束是从来自所述单个反射和折射表面的所述入射光束的部分折射产生的折射光束；

所述第二干涉光束是从来自所述单个反射和折射表面的所述入射光束的部分反射产生的反射光束。

13. 根据权利要求 9 所述的干涉仪系统，其中所述干涉仪是傅氏变换红外光谱 (FTIR) 分析仪、迈克尔逊干涉仪、马赫曾德尔干涉仪或者法布里 - 珀罗干涉仪之一。

14. 根据权利要求 9 所述的干涉仪系统，其中所述 MEMS 致动器是具有两个板的静电致动器，所述电容感测电路感测所述两个板之间的所述当前电容。

15. 根据权利要求 9 所述的干涉仪系统，其中所述电容感测电路包括用于感测所述 MEMS 致动器的所述当前电容的专用集成电路。

16. 根据权利要求 15 所述的干涉仪系统，其中所述专用集成电路进一步生成致动信号以引起所述 MEMS 致动器的运动，并且调节所述光学干涉图案以产生被输入到所述数字信号处理器的经调节的光学干涉图案。

17. 根据权利要求 15 所述的干涉仪系统，其中所述 MEMS 致动器、所述干涉仪以及所述专用集成电路一起集成在裸片封装上。

18. 根据权利要求 15 所述的干涉仪系统，其中：

所述干涉仪包括：宽带光源，用于产生光束；第一臂，包括所述可移动镜；第二臂，包括固定镜；以及分束器，用于对光束进行分束以穿过所述第一臂和所述第二臂这二者；

所述可移动镜可移动通过零位置的两侧，所述零位置对应于在所述干涉仪的所述第一臂和所述第二臂之间的光束的零光学路径差；以及

所述干涉仪记录所述零位置的两侧上的干涉图以由所述数字信号处理器用于相位校正。

19. 一种用于确定微机电系统 (MEMS) 装置内的可移动镜位置的方法，包括：

提供耦合至所述可移动镜的 MEMS 致动器，所述 MEMS 致动器具有可变电容；

使用所述 MEMS 致动器移动所述可移动镜；

感测所述 MEMS 致动器的当前电容；

基于所述 MEMS 致动器的当前电容确定所述可移动镜的所述位置；

随着所述可移动镜的移动，光检测器捕捉光学干涉图案，以及

通过执行所述干涉图案的复数傅里叶变换以补偿镜位置中的任意相位误差。

20. 根据权利要求 19 所述的方法，其中所述 MEMS 致动器具有两个板的静电致动器，并且其中感测所述当前电容包括：

感测所述静电致动器的所述两个板之间的所述当前电容。

一种确定光学干涉仪中的镜位置的技术

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2010 年 3 月 9 日提交的、标题为“Electronics forMEMS-based systems :design issues and tradeoffs”的美国临时专利申请号 61/311,966 的优先权。这里全文合并且此以作参考，同时构成本申请的一部分。

技术领域

[0003] 本发明通常涉及光谱学和干涉量度学，并且更具体地涉及光学干涉仪中的微机电系统 (MEMS) 技术的使用。

背景技术

[0004] 微机电系统 (MEMS) 指在共同硅衬底上的机械元件、传感器、致动器和电子元件通过微制造技术的集成。例如，微电子元件典型地使用集成电路 (IC) 工艺制造，而微机械元件使用兼容的微加工工艺制造，所述微加工工艺选择性地刻蚀掉部分硅片或增加新结构层以形成机械的和电机的元件。MEMS 器件由于它们的低成本、批处理能力以及与标准微电子元件的兼容性，对于使用于光谱学、轮廓术、环境感测、折射率测量（或材料识别）以及若干其他的传感器应用而言是富有吸引力的备选。另外，MEMS 器件的小尺寸有助于这种 MEMS 器件集成至移动和手持器件中。

[0005] 而且，具有大量致动技术的 MEMS 技术支持光子器件（诸如光学调谐和动态感测的应用）的新功能和特征的实现。例如，通过使用 MEMS 致动（静电的、磁的或热的）控制迈克尔逊干涉仪的可移动镜，可以引入在干涉仪的光学路径长度的小位移，并且由此可以获得干涉光束之间的微分相位。所获得的微分相位可以用于测量干涉仪光束的光谱响应（例如，使用傅里叶变换光谱学）、移动镜的速度（例如，使用多普勒效应）或者仅作为光学相位延迟元件。

[0006] 这种干涉仪精确度中的关键元件是确定可移动镜的位置。传统的，激光和辅助性干涉仪一直被用于测量移动镜的位置。然而，引入笨重的激光源和另外的干涉仪增加了干涉仪系统的尺寸、成本和复杂性。

[0007] 因此，需要一种具有降低尺寸、成本和复杂性的机制来确定可移动镜的位置。

发明内容

[0008] 本发明的实施例提供了一种微机电系统 (MEMS) 装置，包括：可移动镜；以及 MEMS 致动器，耦合至所述可移动镜以引起其位移。所述 MEMS 致动器具有可变电容。电容感测电路耦合至所述 MEMS 致动器以感测所述 MEMS 致动器的当前电容，并且基于所述 MEMS 致动器的当前电容确定所述可移动镜的位置。

[0009] 在一个实施例中，所述 MEMS 致动器是具有两个板的静电致动器，并且所述电容感测电路感测所述两个板之间的当前电容。在一个示例性实施例中，所述 MEMS 致动器是静电梳状驱动致动器。

[0010] 在进一步实施例中，所述电容感测电路包括用于接收所述当前电容和产生与所述电容成比例的输出电压的电容至电压转换器。

[0011] 在又一进一步实施例中，所述电容感测电路包括用于感测所述 MEMS 致动器的所述当前电容的专用集成电路，以及用于基于所述当前电容确定所述可移动镜的位置的数字信号处理器。在一个示例性实施例中，所述专用集成电路进一步生成致动信号以引起所述 MEMS 致动器的运动。在又一示例性实施例中，所述 MEMS 致动器、所述可移动镜以及所述专用集成电路一起集成在裸片封装上。

[0012] 本发明的一些实施例还提供了一种微机电系统 (MEMS) 干涉仪系统，包括：干涉仪，具有光学耦合以接收和反射光的可移动镜。所述 MEMS 干涉仪系统还包括：MEMS 致动器，耦合至所述可移动镜以引起其位移；以及电容感测电路，耦合至所述 MEMS 致动器，用于感测所述 MEMS 致动器的当前电容并且基于所述 MEMS 致动器的所述当前电容确定所述可移动镜的位置。

[0013] 在一个示例性实施例中，其中所述干涉仪进一步包括：分束器，光学耦合以接收入射光束和将所述入射光束分成第一干涉光束和第二干涉光束；以及固定镜，被光学耦合以接收所述第一干涉光束并且将所述第一干涉光束反射回所述分束器以产生第一反射干涉光束。所述可移动镜被光学耦合以接收所述第二干涉光束并且将所述第二干涉光束反射回所述分束器以产生第二反射干涉光束。检测器被光学耦合以检测由于在所述第一反射干涉光束和所述第二反射干涉光束之间的干涉结果产生的干涉图案。在一个实施例中，所述可移动镜的位移产生在所述第一干涉光束和第二干涉光束之间的、等于 2 倍所述位移的光学路径长度差。

[0014] 在另一示例性实施例中，所述干涉仪包括：宽带光源，用于产生光束；第一臂，包括所述可移动镜；第二臂，包括固定镜；以及分束器，用于对光束进行分束以穿过所述第一臂和所述第二臂二者。所述可移动镜可移动通过零位置的两侧，所述零位置对应所述干涉仪的所述第一臂和第二臂之间的光束的零光学路径差。所述干涉仪记录所述零位置的两侧上的干涉图以由所述数字信号处理器用于相位校正。

[0015] 本发明的实施例还进一步提供一种确定微机电系统 (MEMS) 装置中的可移动镜位置的方法。所述方法包括提供 MEMS 致动器耦合至所述可移动镜，其中所述 MEMS 致动器具有可变电容。所述方法还包括使用所述 MEMS 致动器移动所述可移动镜；感测所述 MEMS 致动器的当前电容并且基于所述 MEMS 致动器的当前电容确定所述可移动镜的所述位置。

附图说明

[0016] 通过结合附图参考下文的详细描述可以获得本发明的更加完整的理解，在附图中：

[0017] 图 1 是根据本发明实施例的用于确定可移动镜的位置的示例性微机电系统 (MEMS) 装置的方框图；

[0018] 图 2 是示出了根据本发明实施例的用于确定可移动镜的位置的 MEMS 干涉仪系统的示例性元件的方框图；

[0019] 图 3 是示出了根据本发明实施例的 MEMS 干涉仪系统的进一步示例性元件的方框图；

[0020] 图 4 是示出了根据本发明实施例的在 MEMS 干涉仪系统内使用的专用集成电路 (ASIC) 的示例性元件的方框图；

[0021] 图 5 是示出了根据本发明实施例的在图 4 的 ASIC 内使用的示例性电容至电压电路的电路图；

[0022] 图 6 是示出了根据本发明实施例的 MEMS 装置的示例性架构的图；

[0023] 图 7 是示出了根据本发明实施例的 MEMS 干涉仪系统的示例性架构的图；

[0024] 图 8 是示出了根据本发明实施例的示例性 MEMS 裸片封装的图；以及

[0025] 图 9 示出了根据本发明实施例的用于确定可移动镜在 MEMS 装置内的位置的示例性方法的图。

具体实施方式

[0026] 根据本发明的实施例，提供了一种确定微机电系统 (MEMS) 应用（诸如干涉仪 / 光谱仪应用）中的可移动镜的位置的技术。该技术使得能够将干涉仪 / 光谱仪集成到小芯片上并且减少系统的成本和复杂度。

[0027] 现在参照图 1，示出了根据本发明实施例的示例性的 MEMS 装置 100。MEMS 装置 100 包括 MEMS 致动器 110 和可移动镜 120。MEMS 致动器 110 是静电致动器，例如梳状驱动致动器、平行板致动器或者其他类型的静电致动器。可移动镜 120 耦合到 MEMS 致动器 110，从而该 MEMS 致动器的运动引起可移动镜 120 的位置的位移。

[0028] 在许多 MEMS 应用中，有必要知道可移动镜 120 的位置。例如，在干涉仪应用中，可移动镜 120 的位置被用于处理干涉仪的输出。MEMS 干涉仪系统 105 的一个例子在图 2 中示出。如在图 2 中能够看出的，MEMS 致动器 110 和可移动镜 120 以及干涉仪 140 的诸如（如下面结合图 7 的更加详细的描述的）分束器、固定镜和光检测器之类的其他组件一起形成 MEMS 干涉仪 150。MEMS 干涉仪 150 可以例如是傅氏变换红外光谱 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) 分析仪，迈克尔逊干涉仪，马赫曾德尔 (Mach Zender) 干涉仪或者法布里 - 珀罗 (Fabry-Perot) 干涉仪。

[0029] 可移动镜 120 的位移产生干涉仪 140 的两臂之间的光学路径长度差，以便在光检测器获得期望的干涉图案。为了有效处理从光检测器输出的信号，必须确定可移动镜 120 在至少一个面上的位置。

[0030] 因此，现参照图 1 和图 2，为了测量可移动镜的位置，MEMS 装置 100 还包括耦合到 MEMS 致动器 110 的电容感测电路 130。因为 MEMS 致动器 110 是静电致动器，MEMS 致动器 110 具有能够被电容感测电路 130 测量的可变电容。例如，在一个实施例中，电容感测电路 130 可以耦合到 MEMS 致动器 110 的两个板以检测两个板之间的电容（即，测量 MEMS 致动器的电容的当前值，下文称为“当前电容”）。

[0031] 基于测得的当前电容，可以确定可移动镜 120 的位置。如能够被理解的，MEMS 致动器 110 的两个板之间的间距（距离）随着镜 120 的移动而变化。由于 MEMS 致动器 110 是静电致动器，因此两个板之间的电容直接与两个板之间的间距成比例（或者在某些情况下成反比）。因此，板间的电容能够被用于确定该间距，其继而能够被用于确定该镜位置。

[0032] 图 3 是示出了根据本发明实施例的 MEMS 干涉仪系统 105 的示例性组件的方框图。在图 3 中，电容感测电路 (CSC) 130 在专用集成电路 (ASIC) 160 内实施。ASIC 160 进一步被

耦合到 MEMS 干涉仪 150 和数字信号处理器 (DSP) 170。在一个实施例中, DSP 170 在 ASIC 160 上实施。将 DSP 170 集成到 ASIC 160 上产生了富有吸引力的、自给式的解决方案, 该解决方案可以容易地集成在更大的系统中。然而, 这对 ASIC 技术的选择施加了限制, 并且可能导致数字部分和传感模拟前端之间的干扰。因此, 在其他一些实施例中, DSP170 可以在其他 ASIC 上或以通用个人计算机上的可执行软件实现。

[0033] 在 ASIC 160 中的 CSC 130 被耦合以接收来自 MEMS 干涉仪 150 的 MEMS 致动器的电容感测信号 190。CSC 130 测量电容感测信号 190 以确定 MEMS 致动器的当前电容, 并将该当前电容的值传送给 DSP 170。DSP 170 处理该当前电容值以确定 MEMS 干涉仪 150 中的移动镜的位置。

[0034] ASIC 160 还包括如下电路, 该电路用于产生致动信号 180 并将致动信号 180 传送给 MEMS 干涉仪 150 的 MEMS 的致动器以控制 MEMS 致动器的运动。例如, 在示例性的实施例中, ASIC 160 包括支持任意致动方式的数模转换器 (DAC)。该 DAC 还可以具有很高的分辨率以便降低致动噪声, 并且具有很高的无杂散 (spurious-free) 动态范围以确保不会激发不需要的共振模式。

[0035] 另外, ASIC 160 进一步被耦合以接收从 MEMS 干涉仪 150 输出的光学干涉图案 195, 并且提供光学干涉图案 195 给 DSP 170 进行处理。例如, 在示例性的实施例中, MEMS 干涉仪系统 150 是利用通用的 MEMS- 接口 CMOS ASIC 160 的 MEMS FTIR 光谱仪系统。在该实施例中, MEMS 干涉仪 150 包括光检测器、固定镜和可移动镜。随着可移动镜的运动, 光检测器捕捉光干涉图案 195。ASIC 160 可以包括低噪信号调节路径, 该路径放大该信号、消除任何直流偏移并且提供必要的反混叠滤波。信号调节可以以高线性方式实现, 从而减少最终输出频谱的任意杂散音 (spurious tone)。在 DSP 170 处, 利用可移动镜位置的知识, 调节图案的频谱分析能够识别光波长和任意材料在光路上的光谱印记。

[0036] 现参照图 4, 示出了示例性的 CRC 130。CRC 130 包括电容至电压转换器 (C/V) 200、放大器 210 和低通滤波器 220。C/V 200 被耦合以接收指示了 MEMS 致动器的当前电容的电容感测信号 190, 并且操作以将该当前电容转换为电压。特别地, 该 C/V 产生与 MEMS 致动器的两端之间的电容成比例的电压输出。放大器 210 将来自 C/V200 的电压输出放大, 并且低通滤波器 220 滤波该电压从而去除任意杂散信号。在示例性的实施例中, C/V 200 是很低噪音的 C/V, 该 C/V 具有宽范围增益且去除了直流偏移, 从而支持在各种固定电容上叠加的宽电容范围。CRC 130 需要低噪声水平, 因为该镜位置的不精确直接影响该系统的信噪比 (SNR)。ASIC 160 还可以呈现很低的电压和噪声水平以允许超过 18 比特的分辨率。在进一步的实施例中, ASIC 160 还可以包括电容校准电路系统以校准 C/V 200。

[0037] 图 5 示出了 C/V 200 的一个例子。C/V 200 包括用于接收被测量的电容 C 的输入端、用于接收参考电容 Cref 的输入端、运算放大器 202、反馈电容 Co 和包络检测器电路 204。在示例性的操作中, 已知频率 (例如 10kHz) 的交流信号被施加到电容 C 的一端, 而该相同激励信号的负版本被施加到参考电容 Cref。运算放大器 202 的输出是幅值与该值 (C-Cref) 成比例的、具有相同频率的交流信号。

[0038] 包络检测器电路 204 检测运算放大器 202 的输出的包络。特别地, 包络检测器电路 204 操作以产生与从运算放大器 202 输出的交流信号的幅值 (包络) 成比例的输出电压。如图 5 所示, 包络检测器电路 204 检测从运算放大器 202 输出的信号 Vo1 的包络并且产生

与被测量的电容的值成比例的电压 V_{out} 。应理解,用于 C/V 200 的其他电路设计是可能的,并且本发明不限于任何特定的 C/V 电路设计。例如,在另一个实施例中,C/V 200 可以具有多个端子以感测两个电容器的差别,其中该差值与镜位置成比例。

[0039] 图 6 是示出了根据本发明实施例的 MEMS 装置 100 的示例性结构的图。MEMS 装置 100 包括 ASIC 160 和 MEMS 器件 155(例如 MEMS 干涉仪)。MEMS 器件 155 包括静电梳状驱动 MEMS 致动器 110 和可移动镜 120。图 6 示出的静电梳状驱动 MEMS 致动器 110 由梳状驱动 115 和弹性件 118 形成,梳状驱动 115 和弹性件 118 分别具有端子 112 和端子 114。通过在端子 112 向梳状驱动 115 施加电压,产生了诱发了其内的电容的跨致动器 110 的电势差,导致生成驱动力以及来自弹性件 118 的恢复力,从而导致可移动镜 120 到期望位置的位移。通过将端子 112 和端子 114 连接到 ASIC 160 上的端口 162 和端口 164,可以测量跨端子 112 和端子 114 的诱发电容 $C_{variable}$ 。

[0040] 在一个实施例中,使用时分复用或频分复用,来自 ASIC 160 的致动信号作为电容感测信号被传输通过相同的端口(端口 162)。通过在单个端口具有两个功能(致动和电容感测),可以减小需要的最大致动电压,而同时还增加感测电容。然而,这可能导致感测和致动电路间不期望的干扰。因此,在其它一些实施例中,该致动信号通过 ASIC 160 上的不同端口(未示出)发送。应理解,图 6 中示出的 MEMS 致动器 110 的布局和特征仅是示例性的,并且该发明能够采用任何静电 MEMS 致动器设计实现,无论是梳状驱动致动器、平行板致动器或者其他类型的静电 MEMS 致动器。

[0041] 图 7 是示出了根据本发明实施例的 MEMS 干涉仪系统 105 的示例性结构的图。MEMS 干涉仪系统 105 包括 MEMS 干涉仪 150 和 ASIC 160。MEMS 干涉仪 150 可以例如是在 SOI 晶片上实现的以允许 MEMS 致动移动镜的傅氏变换红外(FTIR)分析仪。

[0042] MEMS 干涉仪 150 包括 MEMS 致动器 110 和干涉仪 140。如图 7 所示,干涉仪 140 包括光源 300、分束器 310、固定镜 320、光检测器 330 和可移动镜 120。光源 20 产生行进通过干涉仪 140 直至到达半平面分束器 30 的入射光束 I。在示例性的实施例中,分束器 30 在第一介质(例如硅 Si)和第二介质(例如空气)之间的界面处形成。硅 / 空气界面分束器 30 定位成与入射光束 I 成一角度(例如 45 度)。该期望角度例如可以通过限定硅介质的表面的光刻来产生。

[0043] 一旦照射到半平面分束器 30 上,入射光束 I 被分成两个干涉光束 L1 和 L2。L1 来自硅 / 空气半平面分束器 30 的入射光束 I 的部分反射,并且因此具有与光束入射角相等的反射角。L2 来自穿过硅 / 空气半平面分束器 30 的入射光束 I 的部分透射光,并且以折射角(由 Snell 定律确定)至少部分地在硅中传播。因此,L1 向可移动镜 120 传播,而 L2 向固定镜 320 传播。

[0044] 光束 L1 被可移动镜 120 反射,因此产生反射光束 L3,而光束 L2 被固定镜 320 反射,因此产生反射光束 L4。如图 7 所示,光束 L3 和 L4 在分别从镜 120 和 320 反射后分别取与 L1 和 L2 相同的光学路径(沿相反方向),返回到半平面分束器 30。因此,在光谱仪 / 干涉仪被用作傅氏变换(FT)光谱仪的实施例中,一个干涉仪臂由光束 L1/L3 形成并且包括分束器 30 和可移动镜 120,而另一干涉仪臂由光束 L2/L4 形成并且包括固定镜 320。

[0045] 干涉图案 L5 由在分束器 30 干涉的反射光束 L3 和 L4 产生。干涉图案 15 由检测器 330 检测。检测器 330 的输出经由端 166 输入到 ASIC 160。在一个实施例中,检测器 330

包括通过在衬底上微加工（例如，通过在该衬底的上表面蚀刻以实现在其中可以放置该光检测器的开口）组装的、或通过在衬底内掺杂（例如以实现 P-I-N 二极管）或部分金属化（例如以实现金属 - 半导体 - 金属 MSM 光检测器）而单片化实现的光检测器。

[0046] 也如图 7 所示，利用 SOI 静电 MEMS 致动器 110，可移动镜 120 是可移动的。如图 6 中，示出的静电 MEMS 致动器 110 由梳状驱动 115 和弹性件 118 形成。能够经由端子 114 向梳状驱动 114 施加电压，从而诱发跨端子 112 和 114 的电容并导致可移动镜 120 向该期望位置的位移用于反射光束 L1。因此，可以实现在光束 L3 和 L4 之间的、基本上等于两倍镜位移的光学路径长度差 (OPD)。

[0047] 另外，ASIC 160 可以经由端口 162 和 164 测量跨端子 112 和端子 114 的电容，以确定可移动镜 120 的位置。基于确定的可移动镜位置和检测器 330 的输出，能够产生干涉图 340，从而识别在该光路中光波长和任意材料的光谱印记 (spectral print)。

[0048] 图 7 中的可移动镜 120 被示出位于该两个光学路径 (L1/L3 和 L2/L4) 之间的零路径差处。然而，在其他一些实施例中，为了去除由于电容感测技术产生的相位噪声和误差，可移动镜 120 可以位于该零路径位置之后的距离 δ 处，并且可移动镜 120 可以移动通过零路径位置，使得在零路径位置的正侧和负侧均进行测量。在这一个实施例中，源 300 是宽带源（即白光源）以及正侧和负侧可以相等或不相等。在 DSP 170（图 3 中所示）处，可以执行干涉图 340 的复杂傅氏变换以补偿镜位置中的任意相位误差。在另一个实施例中，取代记录干涉图的正侧和负侧，可以仅取负（左）侧上的干涉图的小部分，并且 DSP 可以利用该小部分来提取正确的信号和去除由电容感测技术产生的一些相位噪声和误差。

[0049] 在一个实施例中，镜 120 和 320 是金属镜，其中选择性金属化（例如，在金属化步骤期间使用荫罩 (shadow mask)）被用于保护分束器。在另一个实施例中，非金属的垂直布拉格镜用于获得小占用面积 (foot print) 的光谱仪。布拉格镜可以使用深反应离子刻蚀 (DRIE) 来实现，由此产生连续的垂直硅 / 空气界面。另外，取决于应用，布拉格镜可以设计成具有宽光谱反射响应以充当简单的反射器或具有波长选择性响应。

[0050] 虽然这里描述了用于分束器的硅 / 空气界面，但提供半波平面分束器的其他介质也可以用于实现本发明。例如，在另一个示例性实施例中，微加工的或组装的玻璃半平面或其他材料（例如派莱克斯玻璃 (Pyrex)）可以用于代替硅，从而允许更宽的光谱操作窗口。另外，诸如液体或不同气体之类的其他材料可以用于代替空气，从而提供自由度以修改半平面分束界面的反射系数。

[0051] 图 8 是示出了根据本发明实施例的示例性 MEMS 裸片封装 400 的图。通过使用电容感测以确定可移动镜的位置，MEMS 干涉仪 150 可以与 ASIC 160 芯片一起集成在同一 MEMS 裸片封装 400 上，从而降低 MEMS 系统的尺寸、成本和复杂性。

[0052] 图 9 示出了根据本发明实施例的用于确定可移动镜在 MEMS 装置内的位置的示例性方法 500。该方法开始于 510 处，具有可变电容的静电 MEMS 致动器被提供为耦合至可移动镜。在 520 处，使用 MEMS 致动器移动可移动镜。之后，在 530 处感测 MEMS 致动器的当前电容，以及在 540 处，基于 MEMS 致动器的当前电容确定可移动镜的位置。

[0053] 如本领域技术人员所认识的，本申请描述的创新型构思可以在宽范围的应用内修改和改变。因此，母案主题的范围不应限于讨论的任意具体示例性教导，而应由所附的权利要求限定。

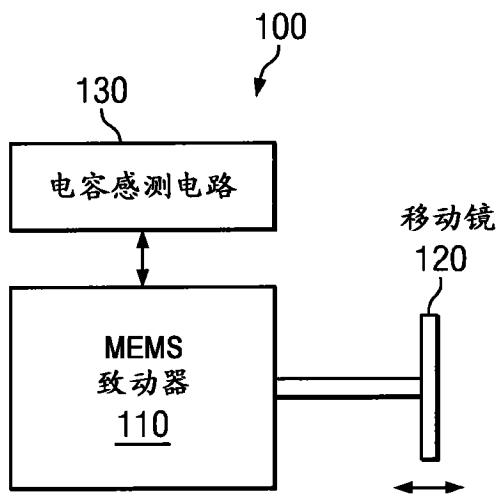


图 1

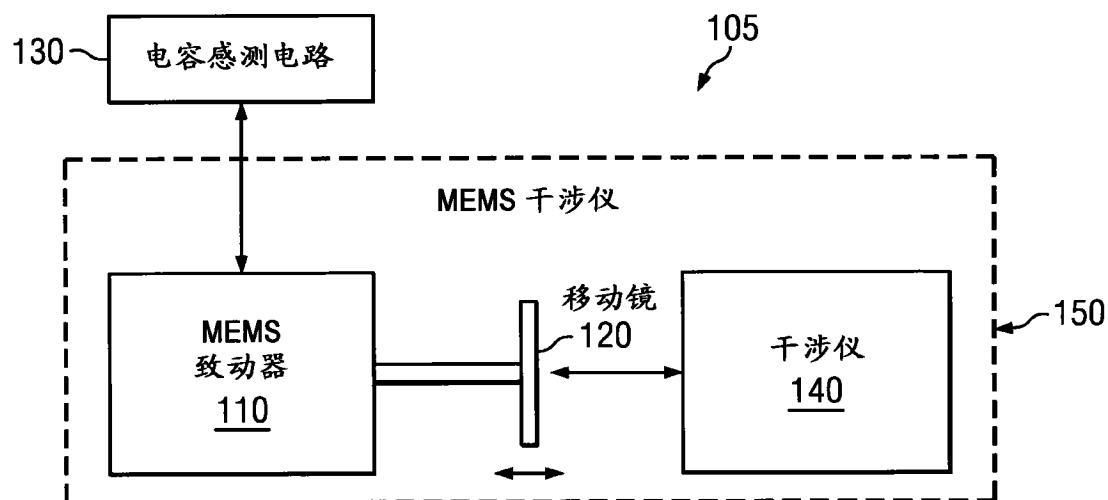


图 2

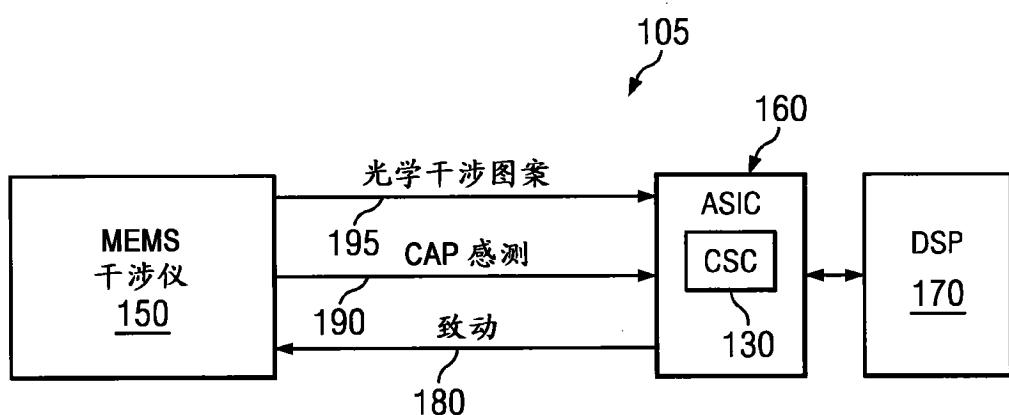


图 3

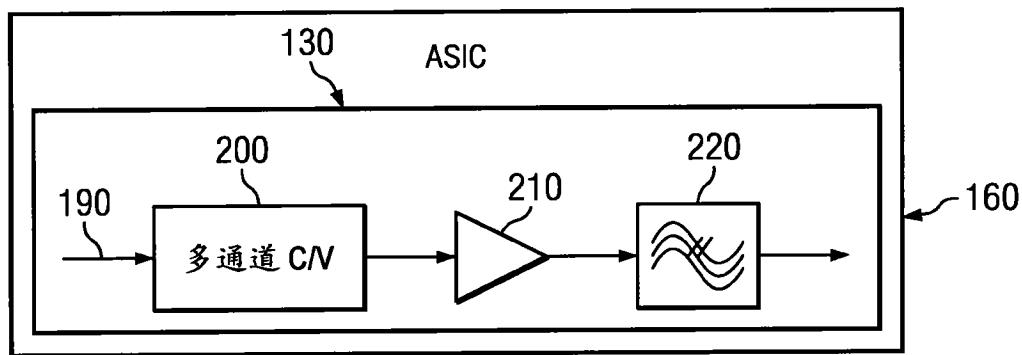


图 4

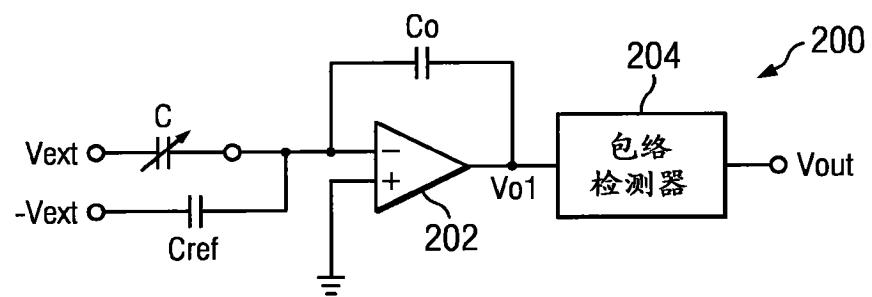


图 5

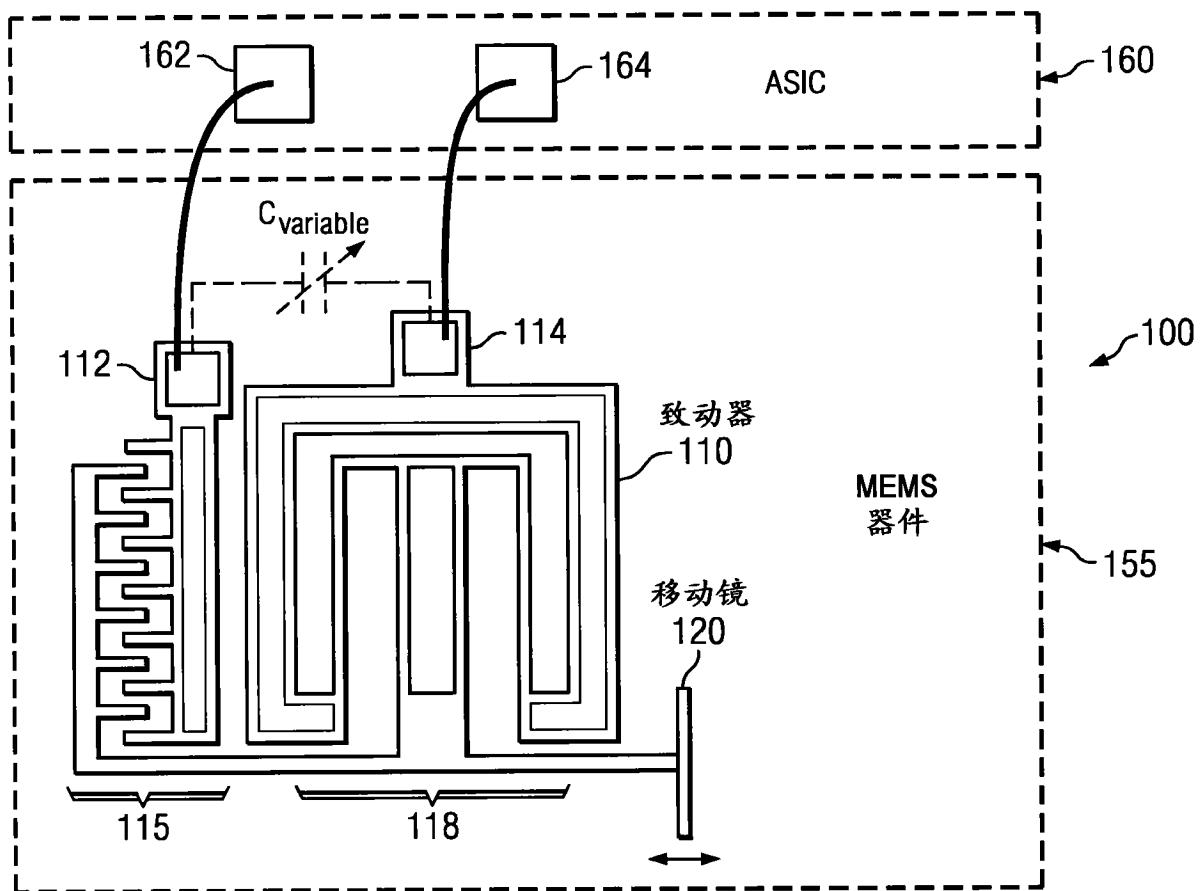


图 6

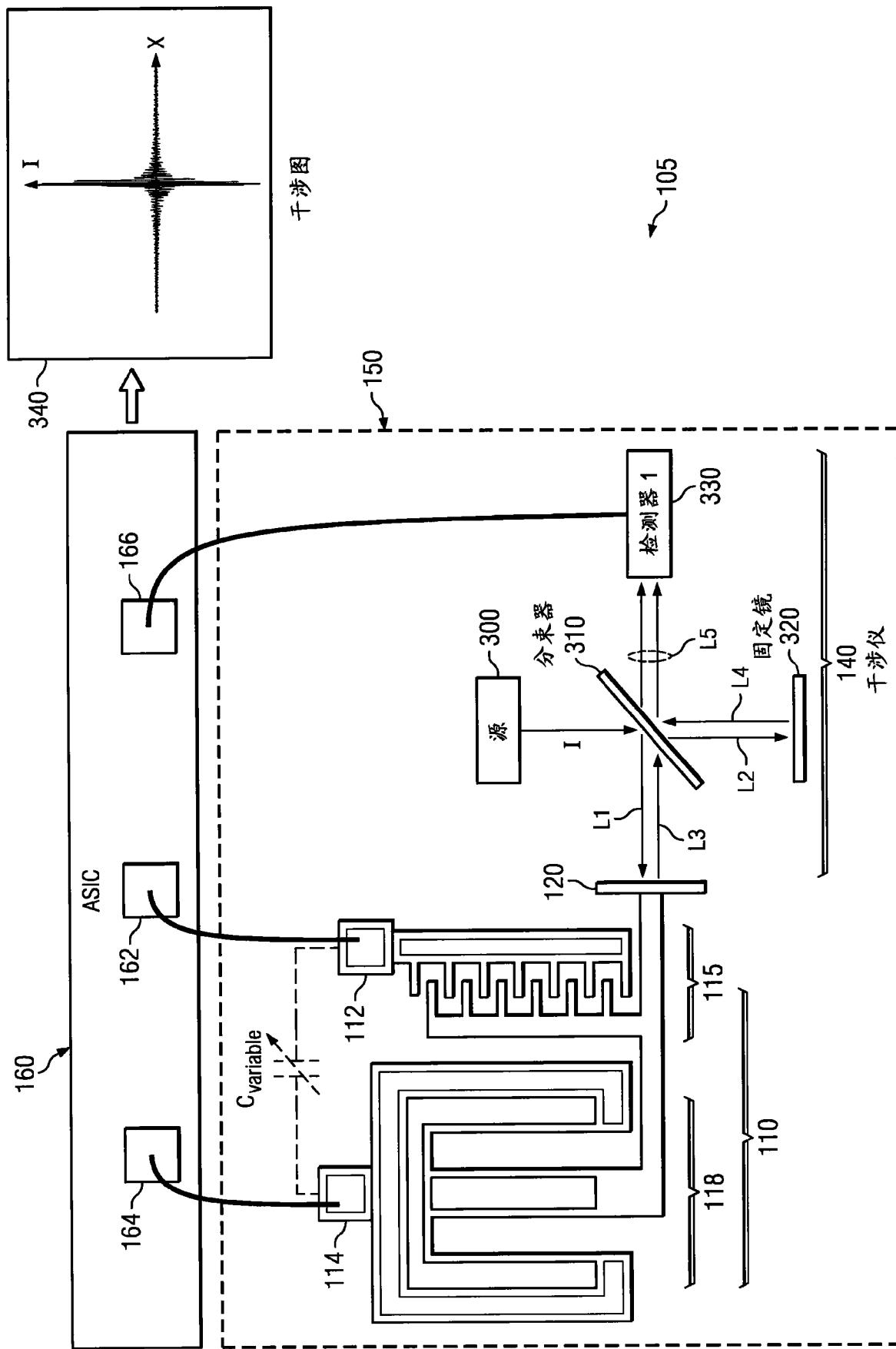


图 7

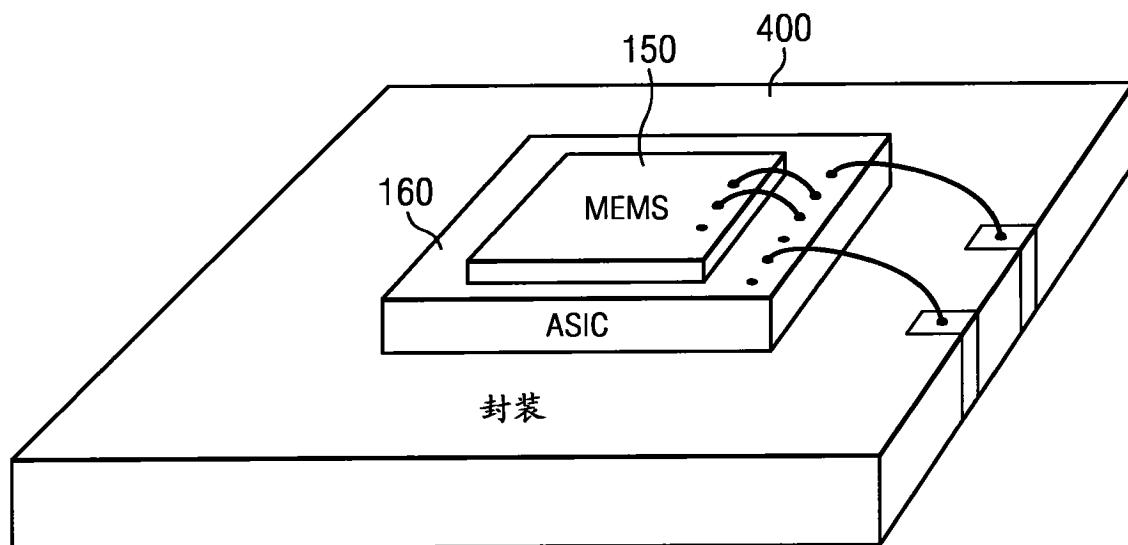


图 8

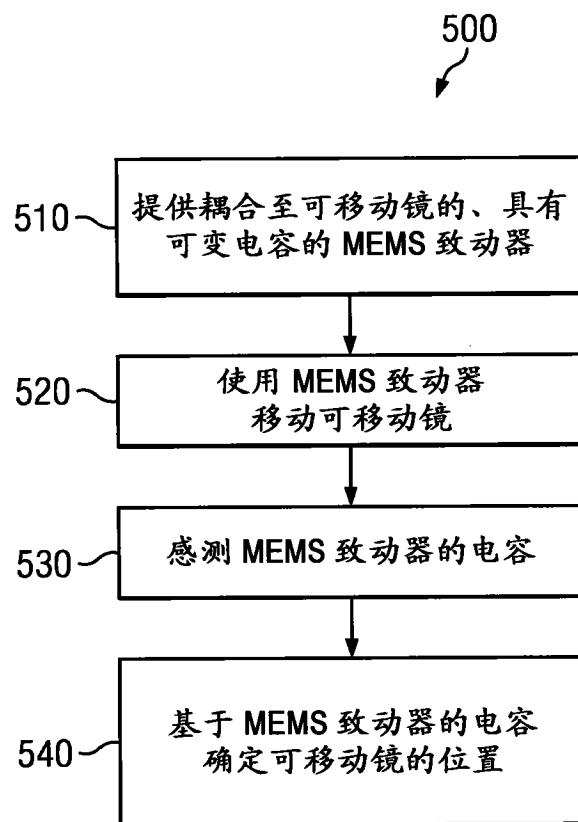


图 9