

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02N 1/00 (2006.01)

B81B 5/00 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03101603.0

[45] 授权公告日 2008 年 4 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 100380800C

[22] 申请日 2003.1.13 [21] 申请号 03101603.0

[30] 优先权

[32] 2002. 1. 11 [33] US [31] 10/043971

[73] 专利权人 惠普公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 D·J·法森

[56] 参考文献

US4121145A 1978.10.17

US5557596A 1996.9.17

US4490664A 1984.12.25

审查员 薛 飞

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 杨 凯 张志醒

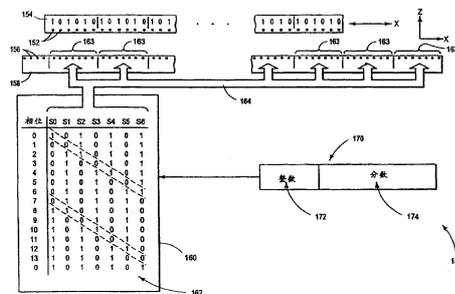
权利要求书 4 页 说明书 12 页 附图 5 页

[54] 发明名称

静电驱动装置

[57] 摘要

一种具有许多可操作地固定在动子(154)上的动子电极(152)和许多可操作地固定在定子(158)上的定子电极(156)的静电驱动装置(150)。动子(154)和定子(158)配置成通过动子电极(152)和定子电极(156)之间产生的静电力而彼此相对运动。静电驱动装置(150)包括驱动器,后者配置成把定子电极(158)置于许多顺序的电压状态中的任一种状态下,其中每一种状态由各个定子电极(156)上的低和高电压电平的组合来定义。从一种电压状态向顺序相邻电压状态的转变在动子(154)和定子(158)之间产生一定步长的相对运动。对于每一种顺序的电压状态,驱动器(160)还配置成把加到定子电极(156)之一的电压选择性地改变到低和高电压电平之间的值,以便产生成比例的较小的步长。



1. 一种静电驱动装置, 它包括:

动子和多个可操作地固定其上的动子电极;

定子和多个可操作地固定其上的定子电极, 所述动子和定子可以借助于在所述动子电极和所述定子电极之间产生的静电力而彼此相对移动; 以及

驱动器, 它配置成把所述定子电极驱动到多个连续的电压状态中的任意一种状态, 每种电压状态由存在于所述定子电极上的低和高电压电平的组合来定义, 且每个所述电压电平被施加到所述定子电极中的一个相应的电极, 其中从一种电压状态向其相邻的电压状态的转变产生所述动子和定子之间相对运动的一个步长,

其中, 对于每一种所述电压状态, 所述驱动器还配置成把加到所述定子电极之一的电压选择性地改变到所述低和高电压电平之间的值, 以便产生按比例的比例的较小的步长。

2. 如权利要求 1 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述驱动器配置成基于数字控制指令产生随所述数字控制指令而线性变化的所述动子和定子之间的相对运动。

3. 如权利要求 2 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述数字控制指令指示了所述多个连续的电压状态之一。

4. 如权利要求 2 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述数字控制指令指示了一个或多个所述定子电极, 所述一个或多个定子电极将接收其电压电平在所述低电压电平和所述高电压电平之间的变化的电压。

5. 如权利要求 4 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 对于将接收其电压电平在所述低电压电平和所述高电压电平之间的变化的电压的所述一个或多个定子电极, 所述数字控制指令指示了这种变化的电压或者不同于所述高电平或者不同于所述低电平的程

6. 如权利要求 1 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述动子电极以多个分组的形式顺序地排列在所述定子上。

7. 如权利要求 6 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 每一个所述分组包括 6 个动子电极。

8. 如权利要求 1 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述动子电极相互均匀地隔开, 并且所述定子电极相互均匀地隔开。

9. 如权利要求 8 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述各动子电极之间的间隔不同于所述定子电极之间的间隔。

10. 如权利要求 8 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述定子电极之间的间隔是所述动子电极之间间隔的 $(N-1)/N$ 倍, 其中,  $N$  是各逻辑/物理组的定子电极数。

11. 如权利要求 10 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述  $N=7$ 。

12. 如权利要求 1 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述动子电极和定子电极分别布置在所述所述动子和定子的彼此面对的一对平面上, 这样配置所述静电驱动装置, 使得在所述各动子和定子电极之间产生的所述静电力产生边缘效应, 所述边缘效应使所述一对平面彼此平行地运动。

13. 一种静电驱动装置, 它包括:

一对物体, 它们配置成彼此相对运动;

以工作方式固定到所述物体之一的多个电极, 这样配置所述电极, 使得加到所述电极的电压产生静电力, 所述静电力导致所述物体的相对运动; 以及

驱动器, 它配置成把电压电平选择性地加到所述各电极, 所述电平是从由以下各种电平构成的组中选择的: 高电平、低电平以及范围在低和高电压电平之间的按比例确定的电平, 其中

所述高电平或所述低电平加到至少一个所述电极上; 以及

所述按比例确定的电平加到至少另一个所述电极上, 其中这样配置驱动器, 使得改变在所述高和低电平之间的按比例确定的电平导致按比例地调整发生在所述物体之间的相对运动。

14. 如权利要求 13 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述驱动装置配置成根据数字控制命令产生所述物体之间的相对运动。

15. 如权利要求 14 所述的静电驱动装置, 其特征在于: 所述驱动装置

配置成产生所述物体之间的正比于所述数字控制命令线性变化的相对运动量。

16. 如权利要求 14 所述的静电驱动装置，其特征在于：所述数字控制命令指示了加到每一个所述电极的电压电平。

17. 如权利要求 14 所述的静电驱动装置，其特征在于：所述数字控制命令指示了所述各电极中准备接收所述按比例确定的电平的特定电极。

18. 如权利要求 17 所述的静电驱动装置，其特征在于：对于所述各电极中准备接收所述按比例确定的电平的特定电极来说，所述数字控制命令包含所述按比例确定的电平的数值。

19. 如权利要求 14 所述的静电驱动装置，其特征在于：所述驱动装置配置成产生所述物体之间的正比于数字控制命令线性变化的相对运动量。

20. 如权利要求 13 所述的静电驱动装置，其特征在于：所述各电极布置在所述各物体之一的平面上，这样配置所述静电装置，使得所述驱动装置选择性地施加电压电平到所述电极上的操作导致所述物体之间的在平行于其上布置有所述电极的平面的方向上的相对运动。

21. 如权利要求 13 所述的静电驱动装置，其特征在于：所述物体之一是计算机存储介质，以及其中所述物体的另一个包括用于访问所述计算机存储介质上的存储单元的存取装置，所述静电装置配置成产生所述计算机存储介质和存取装置之间的相对运动，以便选择性地存取所述计算机存储介质上的所需的存储单元。

22. 一种静电驱动的计算机存储装置，它包括：

存储介质和多个可操作地固定其上的存储介质电极；

以可动方式与所述存储介质耦合的存取装置，所述存取装置配置成对所述存储介质上的存储单元进行存取；

相对于所述存取装置而固定的多个存取装置电极，所述存储介质和存取装置可以借助于在所述存储介质电极和所述存取装置电极之间产生的静电力而彼此相对运动；以及

驱动器，它配置成把所述存取装置电极驱动到多个连续的电压状态

中的任意一种状态，每种电压状态由存在于所述存取装置电极上的低和高电压电平的组合来定义，其中从一种电压状态向其相邻的电压状态的转变产生所述存储介质和所述存取装置之间相对运动的一个步长，

其中，对于每一种所述电压状态，所述驱动器还配置成把加到所述存取装置电极之一的电压选择性地改变到所述低和高电压电平之间的值，以便产生按比例较小的步长并由此提高发生在所述存储介质和所述存取装置之间的相对运动的分辨率。

## 静电驱动装置

### 技术领域

本发明涉及静电驱动装置，其中控制一个或多个电极的电压来产生静电力，后者引起两个或多个所述电极固定其上的物体之间的相对运动。

### 背景技术

人们已经知道利用静电力控制一对物体之间发生的运动。实现这种控制的一种方法是在一对物体上固定或者形成电极，然后对电极施加电压以产生静电力。通过考虑物体之间的物理连接的细节，可以巧妙地控制电压及产生的静电力以控制物体之间产生的运动。

在微机电系统(MEMS)中，经常需要实现物体之间一定运动范围的非常小而精细的运动。为此，有时采用大量的电极，电极相隔很近，如几微米或更小。在一些情况下，可以通过进一步降低相邻电极之间的间距或间隔来改善分辨率(即更精细的运动步长)。然而，当间距已经处于或接近给定制造技术可能的极限时，这样做就不可行。在另外一些情况下，即使技术上有可能，但增加电极密度可能也不利。例如，增加电极密度可能耗费额外空间、增加热输出、或者需要复杂而讨厌的支持电子线路。

如果不考虑相对运动的大小或质量，通常希望运动容易控制。许多现有系统达不到这一点。一些系统难以控制是因为它们不是设计成易于与闭环控制系统合为一体。另一些系统需要采用复杂的协议或者指令语言来产生需要的运动。还有一些系统要求系统操作者具备所述系统机械细节的详细知识以产生必要的电压和静电力来产生需要的相对运动。

## 发明内容

本发明提供一种静电装置，它具有动子和定子，许多动子电极可操作地固定在动子上，而许多定子电极可操作地固定在定子上。动子和定子借助于在动子电极和定子电极之间产生的静电力而彼此相对可动。静电驱动装置包括驱动器，所述驱动器配置成驱动定子电极进入许多连续的电压状态中的任意一种状态，其中每个电压状态由定子电极上的高电压电平(HI)和低电压电平(LO)的组合定义。从一种电压状态向其相邻的电压状态的转变产生动子和定子之间相对运动的步长。对于每一个连续的电压状态，驱动器还配置成把加到定子电极之一的电压选择性地改变到 LO 和 HI 电压电平之间的值，以便产生较小的成比例的步长并因此提高静电驱动装置的分辨率。

## 附图说明

图 1-3 说明可以应用根据本发明的静电驱动装置的计算机存储装置的不同透视图。

图 4 是对根据本发明的静电驱动装置的图示说明。

图 5 是示例性波形图，它说明可能存在于图 4 所示的不同定子电极上的信号状态。

图 6 图示说明可以用来把信号加到图 4 所示定子电极上的驱动器系统。

## 具体实施方式

本发明针对静电驱动装置。这里所描述的静电驱动装置实施例可以用于多种装置，但被证明特别有利于用在非常小的计算机存储装置及其它 MEMS 系统。只是为了说明上的目的，以下所述静电驱动装置实施例将主要在高密度 MEMS 计算机存储装置的范围内讨论。

图 1 和图 2 分别说明存储装置 100 的侧视和顶视横截面图，其中可以采用根据本发明的静电驱动装置。存储装置 100 包括：几个

场致发射极(field emitter), 如 102 和 104; 具有几个如 108 的存储区的存储介质 106; 以及微致动器 110, 后者使存储介质 106 相对于场致发射极扫描(移动)或者相反。存储装置 100 可以配置成每个存储区负责存储 1 位或者多位信息。

场致发射极可以配置成具有非常尖锐的尖端的发射极。例如, 每个场致发射极可以具有约 1 到数百毫微米的曲率半径。工作期间, 在场致发射极及其对应栅极、例如发射极 102 和环绕发射极 102 的圆形栅极 103 之间, 加上预先选定的电位差。由于发射极的尖锐尖端的缘故, 电子束流被从发射极抽出并以高精度射向存储区。可以根据发射极和存储介质 106 之间的距离、发射极类型、以及所要求的斑点尺寸(位尺寸), 来要求电子光学系统聚焦电子束。也可以对存储介质 106 施加电压来或者加速(或减速)场致发射电子、或者帮助聚焦场致发射电子。

外壳 120 通常适合于把存储介质 106 保持在局部真空(例如至少  $10^{-5}$  托)中。研究者们已经采用半导体处理技术在真空腔中制作出了精细加工的场致发射极。参见, 如“Silicon Field Emission Transistors and Diodes,” by Jones, published in IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, 15, page 1051, 1992。

每个场致发射极可以对应于存储介质 106 上建立的一个或多个存储区。如果每个场致发射极负责多个存储区, 则存储装置 100 通常适合于在外壳 120(亦即, 场致发射极)和存储介质 106 之间扫描或者以其它形式实现相对运动。例如, 微致动器 110 通常适合于对介质 106 的不同位置进行扫描、使得每个场致发射极定位在不同的存储区之上。采用这样的结构, 微致动器 110 可以用来扫描存储介质之上的场致发射极(通常是二维)阵列。因为存储介质 106 相对于外壳 120 运动, 所以通常称它为“动子(mover)”。相对应地, 外壳 120 以及相对于外壳固定的各种其它部件(例如场致发射极)通常称为“定

子(stator)”。

场致发射极通常适合于通过它们产生的电子束在存储区读取和写入信息。因此，适用于存储装置 100 的场致发射极必须产生足够细的电子束以便在存储介质 106 上获得所需的位密度。而且，场致发射极必须提供具有足够的功率密度的电子束以便进行所需的读/写操作。可以用多种方法制作这种场致发射极。例如，一种方法公开在“Physical Properties of Thin-Film Field Emission Cathodes With Molybdenum Cones,” by Spindt et al, published in the Journal of Applied Physics, Vol.47, No.12, December 1976。另一种方法公开在“Fabrication and Characteristics of Si Field Emitter Arrays,” by Betsui, published in Tech. Digest 4<sup>th</sup> Int. Vacuum Microelectronics Conf., Nagahama, Japan, Page 26, 1991。这类发射极已成功地用在不同的应用中，如平板显示器。

可以以二维阵列(例如 100x100 个发射极)的形式提供场致发射极，所述阵列在 x 和 y 方向发射极间距都是 50 微米。每个发射极可以存取数万到数亿个存储区。例如，发射极可以在具有二维存储区阵列的存储介质上扫描(即相对运动)，其中相邻存储区之间的间隔周期在任何地方都是从几分之一毫微米到 100 或 100 以上毫微米，而微致动器的运行范围在 x 和 y 方向都是 50 微米。场致发射极也可以以同步或者多路复用方式寻址。并行寻址方案可以给存储装置 100 提供存取时间和数据速率方面明显的性能改善。

图 3 是存储介质 106 的典型的顶视图，描述了存储区的二维阵列和场致发射极的二维阵列。(未标示出的)外部电路用于寻址存储区。如图所示，经常要把存储区分割成行，例如行 140，其中每行包含一定数量的存储区，例如存储区 108。通常，每个发射极负责一定数量的行，但不负责整个长度的这些行。例如，如图所示，发射极 102 负责行 140 到 142、以及列 144 到 146 之内的存储区。

以上说明典型的存储装置，其中可以使用根据本发明的静电驱

动装置。这类存储装置的其它方面公开在 U. S. Patent No. 5557596 , 所述专利的公开内容通过这种引用而被包括在本文中。

图 4 描述根据本发明的静电驱动装置 150, 它包括: 固定到转子 154(如存储介质 106)的许多转子电极 152; 固定到定子 158(如外壳 120)的许多定子电极 156; 以及驱动器 160。通常, 如图所示, 转子电极和定子电极都布置成线状, 与运行轴(如 x 轴)平行。驱动器 160 在转子电极和/或定子电极上产生电压, 从而在转子 154 和定子 158 之间产生静电力作用。由于静电场的边缘效应以及转子和定子耦合采用的机械悬浮作用, 静电力使转子沿 x 轴相对于定子运动, 如图所示。改变加到电极的电压产生转子和定子的相对位置的变化。

为获得沿另一轴(如, y 轴)或者不同方向的相对运动, 对所述轴或者方向重复如图所示的排列。例如, 如上所述, 可以要求存储介质在 2 维空间即 x-y 平面运动。因而, 所述静电驱动系统将包括沿 x 和 y 轴的转子和定子电极。本专业的技术人员会认识到本发明的范围包括具有以下能力的系统: 产生多方向运动, 包括直线/轴向运动以及曲线方向或者其它形状的方向的运动。

实际上可以以各种不同的几何配置、使用所需的任意数量的电极。如上所述, 如果要轴向运动, 转子和定子电极通常排列成平行于要求的运动轴的直线。并且, 常常需要建立足够的电极, 使得在所需的整个运行范围内, 至少一些转子和定子电极足够靠近、以产生足够的静电力形成物体之间的相对运动。

例如, 具体参见图 4, 转子电极 152 基本上沿转子 154 的下侧表面的整个有效长度配置成均匀间距或间隔。每个转子电极 152 上的电压表示成 1 或者 0, 其中 1 表示电极处在高(HI)电压电平  $V_e$ , 而 0 表示电极处在低(LO)电压电平(通常为地)。如图所示, 对于相邻电极, 转子电极上的电压在 1 和 0 之间交替。 $V_e$  为 40 伏已被证明是合适的, 当然其它电平可能适合用于具体的实施。在所述配置中, 转子电极的电压不变。而且, 如就要解释的那样, 改变定子电极上的

电压，以产生用来相对于定子而移动动子的变化的静电力。

仍参考图 4，定子电极 156 沿面对动子 154 的定子 158 的表面以类似的直线方式排列。像动子电极一样，定子电极 156 通常彼此均匀分隔，即，它们具有均匀的间隔。然而，如就要看到的那样，定子电极间隔可能不同于动子电极间隔。

如图所示，定子电极 156 配置成几组 163，每组包含从 S0 到 S6 共 7 个电极。驱动器 160 配置成通过数个不同的电压状态或者相位来驱动每个定子电极组的电极。这些相位列在表 162，它示意性地说明可能加到定子电极上以产生所需相对运动的电压。表 162 中的每行定义具体的相位并表示加到定子电极 S0 到 S6 上的关于所述相位的电压电平。例如，在第 0 相，HI 电压电平(如， $V_e$ ，在表中用 1 表示)加到定子电极 S0，LO 电压电平(如地)加到定子电极 S1，依此类推。如图所示，定子电极有 14 个不同的相位；在表中把这些相位标为从 0 到 13。从一个相位到其相邻相位的转变(即上升一个相位或下降一个相位)引起动子 154 相对于定子 158 移动一个固定步长。

如以总线式连线 164 所示，由给定相位定义的 0 与 1 的电压图案通常加到位于定子上的每组 7 个定子电极。因此，应当指出，定子电极既是逻辑分组又是物理分组的。因为每组包括在定子上物理相邻的 7 个定子电极，所以，所有定子电极物理上是分组的。因为在电极表面全长范围内同样地重复电活性、7 个一组是定子电极最小的分组，所以所有定子电极逻辑上是分组的。每组从驱动器 160 接收相同的信号集。

对 7 个定子电极的每个组 163，在动子上有占据相同长度的 6 个动子电极，如图所示。所以，定子电极的间距是动子电极的  $6/7$ 。可以采用其它的分组形式和间距比率。例如，系统可以配置成定子电极构成多于或少于 7 个电极的逻辑分组。定子电极与动子电极的间距比率可以是 1:1 或者所示例子 7:6 比率之外的其它值。

尽管可能有许多配置，但是，如所示的例子中那样，通常希望

定子-动子间距比率是 $(n):(n-1)$ ，其中  $n$  是各逻辑/物理组的定子电极数。通常，每个相位前推的动子步长随动子电极的几何结构以及马达弹力和静电驱动的相对力常数而变。下面将指出，对上述 $(n):(n-1)$ 的定子-动子间距比率，相邻相位的每次转变产生的固定步长等于动子电极的间距除以每逻辑/物理组的定子电极数。这假定电极之间产生的静电力远大于马达的弹性力。例如，假定动子电极间距是 1.4 微米并且每组 7 个定子电极，那么，步长将是 0.2 微米。因此，参见表 162，从相位 5 到或者相位 4 或者相位 6 改变定子电极电压会引起动子 154 和定子 158 之间 0.2 微米的  $x$  轴方向的相对位移。事实上，在本例中，从表 162 所示 14 个不同相位的任意相位开始，增加或者降低 HI 电压个相位将会形成 0.2 微米的位移。

在许多情况下，由上述电极几何结构决定的步长是足够的。在另一些情况下，需要提高动子的分辨力(例如，通过减小步长)。例如，如图 1-3 所述存储装置的一个实施例，存储介质上的数据轨迹是 40 毫微米宽，或上述例子中 0.2 微米步长的  $1/5$ 。为精确地寻址这个尺寸的数据轨迹，需要比 0.2 微米高得多的动子分辨力。以更高分辨率定位允许有效采用闭环伺服控制、减少量化误差并允许存储装置以轨迹偏差调整方式工作(如数据恢复操作经常要求的那样)。

仍参考图 4，说明提高动子分辨力的系统和方法。通常，通过一个或多个定子电极 156 上的电压的比例控制来减小步长。已经发现，在低(LO)和高(HI)电压信号之间(即 0 和  $V_e$  之间)改变一个定子电极的电压，引起步长的按比例线性换算。例如，假定对相位 1(定子电极  $S_0$  到  $S_6$  的电平= $\{0010101\}$ )，如表 162 所见)，动子处在  $x=0$  微米位置。假定如上所述的步长，切换到相位 2( $S_0$  到  $S_6$ = $\{0110101\}$ )会使动子前进到  $x=0.2$  微米。如果不前进到相位 2，第 2 定子电极( $S_1$ )上的电压也可以按比例从 0 增到 1，同时所有其它定子电极保留相位 1 的值不变，以获得更精细的位置控制。这样，通过把定子电极设定

在  $S_0$  到  $S_6 = \{0110101\}$ ，可以实现固定步长的 10% ( $x=0.02$  微米) 的位置控制。这可以理解成对相位 1 的“修改”。

此结果可以更一般地扩展到所述系统，其中通过对每组定子电极的一个定子电极进行比例控制来提高分辨力。如表 162 虚线所示，比例电极随每一次相位推进而切换。对  $S_0$  进行 0 相位的比例控制，对  $S_1$  进行相位 1 的比例控制，对  $S_2$  进行相位 2 的比例控制，依此类推。通常，如表 162 所示，比例电极等于 (相位模 7 (phase mod 7))。因此，一旦相位确定，要控制的定子电极可以简单地用模 7 逻辑的硬件或者软件来确定。

图 5 说明在具体的定子电极组中 7 个定子电极中每一个的电压波形。因为系统循环经过 14 个不同相位中的每一个，所以每个定子电极在 6 个连续的相位期间处在低电平 (0)，在 1 个相位期间处在转变状态，然后在 6 个连续的相位期间处在高电平 (1)。所述波形显示低和高电平之间的线性斜波转变，表示在发生斜波转变的相位期间对给定定子电极进行比例控制。

例如，在相位 9，电极  $S_2$  被比例控制，而转变是从低电平向高电平。在所述相位期间， $S_2$  被比例设定到低电平和高电平之间的某个比例值，以实现所需的位移量，同时所有其它的电极保持在相位 9 确定的 LO 和 HI 电压电平。同样，这可以理解成对相位 9 的修改。当  $S_2$  设为 0 (低电平) 时，没有对相位 9 进行离开图 4 表 162 所示电压状态的修改。当通过增加  $S_2$  上的电压来修改相位 9 时，发生位移的比例量，即，与通过简单地从相位 9 转变到相位 10 而发生的固定步长成比例。当  $S_2$  上的电压达到 1 (高电平) 时，发生一定量的位移，所述位移接近于所述相位简单地切换到相位 10 会发生的位移。如果需要进一步的位移，电极电压切换到相位 10 指定的电平，而比例电极切换到  $S_3$ ，然后对后者进行比例控制以实现所需的位移。

因此，下面将指出，为了定位动子，至少需要两种信息。首先是相位。如上所述，相位决定哪些电极要比例控制，以及是把高电

平还是把低电平加到其余的非比例电极上。第二个信息是要加到比例电极以产生所需动子位移的电压。

这两种信息都可以合成到多位数字指令中，如典型的控制指令 170，它包含整数值 172 和小数值 174。整数值 172 指定动子从某参考点移动的相位步数(相位推进产生的位移)。在上述例子中，每个相位步长提供 0.2 微米的位移。所述整数值 172 是 8 位数，因此容纳多达 256 个相位步长。假定步长是上述 0.2 微米，这会提供大约 50 微米运行范围的相对位移。这一范围已被证明对上述典型存储装置是有用的。当然，可以修改所述整数值域步长以便容纳所需的任意数目的相位步长。

通常处理整数值 172 以便产生 4 位值，所述值指定定子电极的相位。这可以通过利用实现模 14 计数器的硬件或软件把整数值 172 转换成 14 进制数来完成。另一方面，所述整数值也可以直接通过下列 14 进制转换方法之一转换到相位：(1) 相位= $iv - \text{INT}(iv/14) * 14$ ，其中  $iv$  是所述整数值；或者，(2) 相位= $iv - \text{INT}((iv*64+iv*8+iv+72)/1024) * 14$ 。

为了把动子移动所需数目的相位步长，驱动器 160 通常使定子电极 156 循环通过所有其间的连续相位。为了说明，假定整数值 172 为 0 时动子在  $x=0$  位置。当整数值 172 为 50 时，动子移到  $x=50*(0.2)=10$  微米。也是在所述点(即  $x=10$  微米)，定子电极在相位 8(S0 到 S6={1101010})。为把动子再移 10 微米到  $x=20$  微米，需增加 50 个相位步长。因此，从相位 8 开始，相位增加 50 次(从相位 8 到相位 9、10、11、12、13、0、1、等等)，以产生必要的静电力来实现所需的移动。在第 100 步，电极处在相位 2。

小数值 174 指定给定相位步长的小数值，并用于确定加到受比例控制的电极的电压的比例。另一个考虑小数值 174 的方法是，它是把给定相位从表 162 所示的未修改的表示修改多少的说明。在所述控制指令 170 中，采用 12 位小数值，产生最终步长，后者比通过

相位推进产生的基本步长小 4096 倍。因而，如果采用上述例子中的 0.2 微米步长，12 位小数值提供达到 0.05 毫微米(0.2/4096 微米)，即 1/20 毫微米的动子分辨力。

下面将指出，上述比例控制系统和控制指令提供了一定的优越性。一个优点是易于操作。在某种意义上来说，所述系统产生数模变换器的效果，它接收数字输入(如控制指令 170)而相应地产生模拟输出(如动子 154 的物理位移)。物理位移量易于控制，因为它是随数字输入值线性变化的。控制指令允许系统编程者/设计者容易编程控制移动而不必知道可动系统的内部机械细节。另外，所述比例控制方案增强运动分辨力，不需要附加电极或者复杂的支持电子线路。

图 6 描述驱动器 160 的各种部件，所述驱动器可以用来产生定子电极 156 上所需的电压。为每个定子电极设置半桥式电路 180。每个半桥式电路包括：输入栅极 182，它连接到 P 型场效应晶体管 184 和 N 型场效应晶体管 186，后者分别与  $V_e$  和地相连；以及定子电极电压的输出引脚 188。设置调节运算放大器 190 来实现对所述电极之一(如表 162 中斜虚线指定的受比例控制的电极)的比例控制。分压器 192(电阻 194 和 196)和 D-A 变换器 198 连接到运算放大器的输入端。电极表 162 与图 4 所述表相同，包含加到不同定子电极的电平。驱动器 160 还可以包括处理器 202、存储器 204 以及配置来实现此处所述功能的其它硬件和软件部件。

如上所述，控制指令 170 作为输入信号加到驱动器 160。如前所述，整数值 172 指定相位数以及相位，后者是为达到指令要求的移动、定子电极必须置于的相位。基于所述相位，知道要加到非比例定子电极上的电压。通常，根据存储的数值来施加这些电压，如表 162 中(图 4)所示的对于不同相位的数值。相位选择产生输入到要切换的非比例电极的输入信号，以便把存储值作为输入信号加到控制所述电极输出端的半桥式电路。具体地说，或者把 1 或者把 0 加到每一个非比例电极的半桥式电路的输入栅极 182。加 1 的地方，P 型场效

应晶体管 184 饱和，把电极输出引线 188 连接到  $V_e$ 。如果 0 加到栅极，则 N 型场效应晶体管 186 饱和，把所述电极输出引线接地。

相位值也决定到所述比例电极的输入信号的切换。具体地说，相位决定哪个半桥式电路将被选择与调节运算放大器 190 连接，以便在半桥式电路的输出端产生地与  $V_e$  之间的输出。基于相位选择，被选半桥式电路的输入栅极 182 连接到运算放大器 190 的输出端 208。被选半桥式电路的输出引线 188 通过电阻 196 连接到运算放大器 190 的输入端。

通过向 D-A 变换器 198 提供输入 210 而在选定的半桥式电路的输出端产生所需的比例电压。输入 210 设定在：或者(1)  $f_v/4096$ ，其中  $f_v$  是小数值 174(假定小数值 174 是 12 位数)；或者(2)  $1-f_v/4096$ 。这两种情况分别反映：有时候通过提高比例电极上的电压来增加位移量(第 1 种情况)；而其它情况下通过降低比例电极上的电压来增加位移(第 2 种情况)。参见图 5 电压波形，当转变斜率是正的(当图 4 电极输入项是 0)时，D-A 变换器 198 提供  $f_v/4096$ (第 1 种情况)。当转变斜率是负的(当图 4 电极输入项是 1)时，D-A 变换器 198 提供  $1-f_v/4096$ (第 2 种情况)。

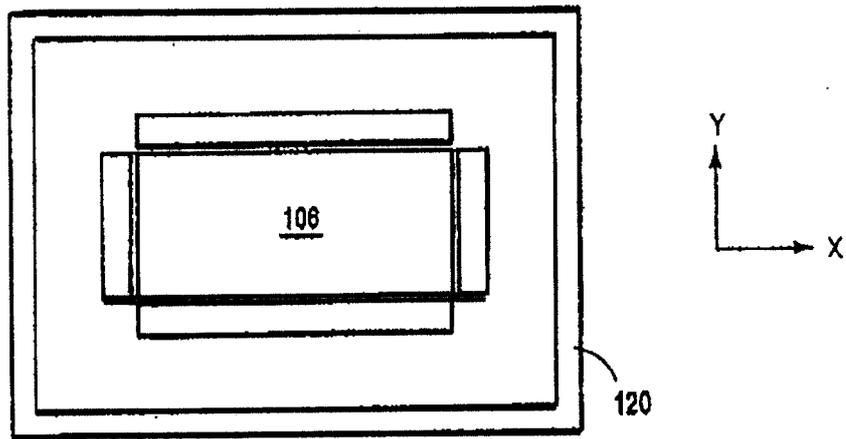
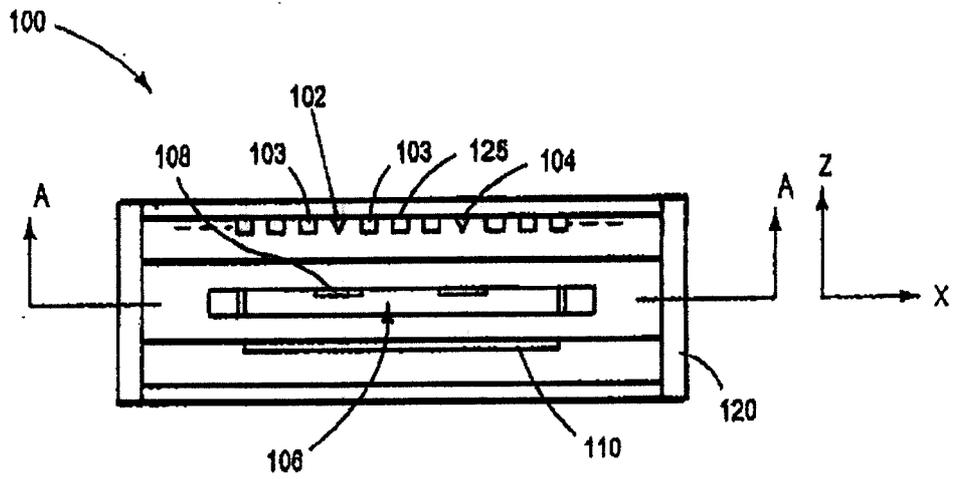
来自 D-A 变换器 198 的模拟输出信号作为输入信号经由正输入端加到运算放大器 190，同时来自选定的半桥式电路的分压输出经由负输入端加到运算放大器 190。施加这些输入信号最终使运算放大器 190 达到平衡，这时，所需的比例电压从选定的半桥式电路输出并加到给定的定子电极。

相信上述公开中包含有独立效用的多个独特发明。虽然这些发明每个以其优选形式公开，当可能存在大量变型时，在此公开及说明的具体实施例不被看成具限制意义。本发明的主要方面包括在此公开的不同元件、特征、功能和/或性能的新颖及非显而易见的所有组合和子组合。类似地，权利要求书陈述“一”或“第一”元件或者其等效表达，其权利要求书应理解为包括一个或多个此元件的组

合，而不是要排除包括两个或多个此元件。

相信随后的权利要求书具体指出了某些组合和子组合，后者针对所本公开的发明之一并且是新颖的和非显而易见的。包含在特征、功能、元件和/或性能的其它组合和子组合中的发明可以通过修改本权利要求书或(在此或相关申请的新权利要求书的)说明来申请专利。这类修改或者新权利要求书，不管其是否针对不同发明或者同一发明，是否不同、更宽、更窄或等于原始权利要求书的范围，也被理解成包含在本公开的发明的主题中。

图 1



A-A 剖面

图 2

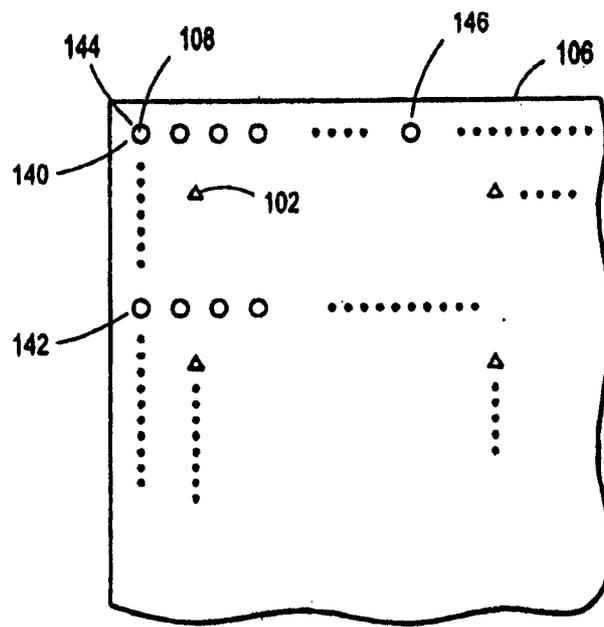


图 3

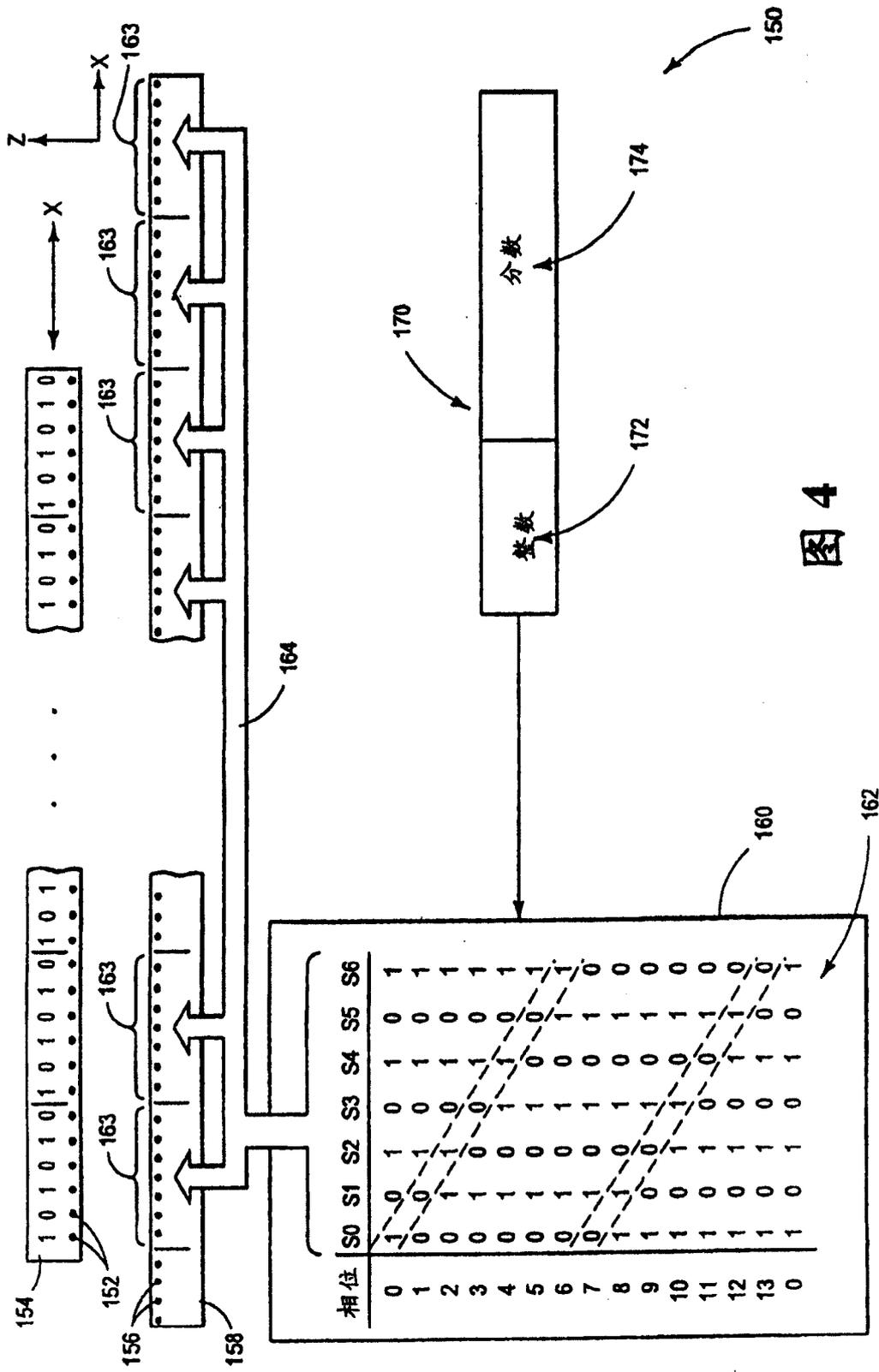


图 4

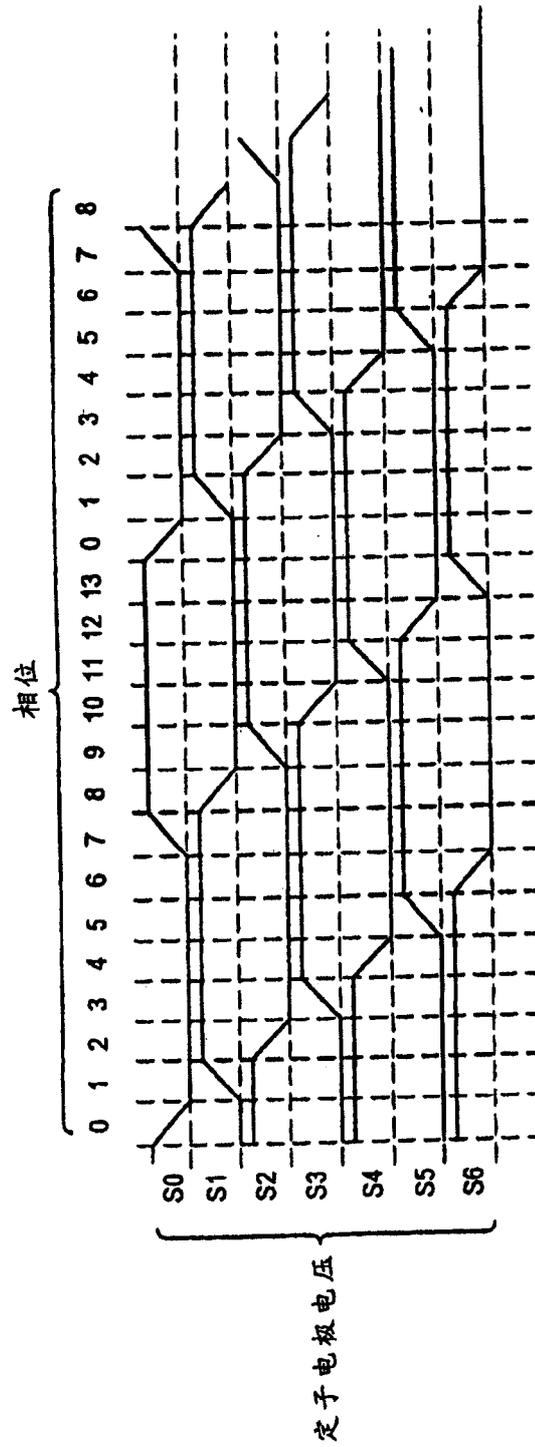


图 5

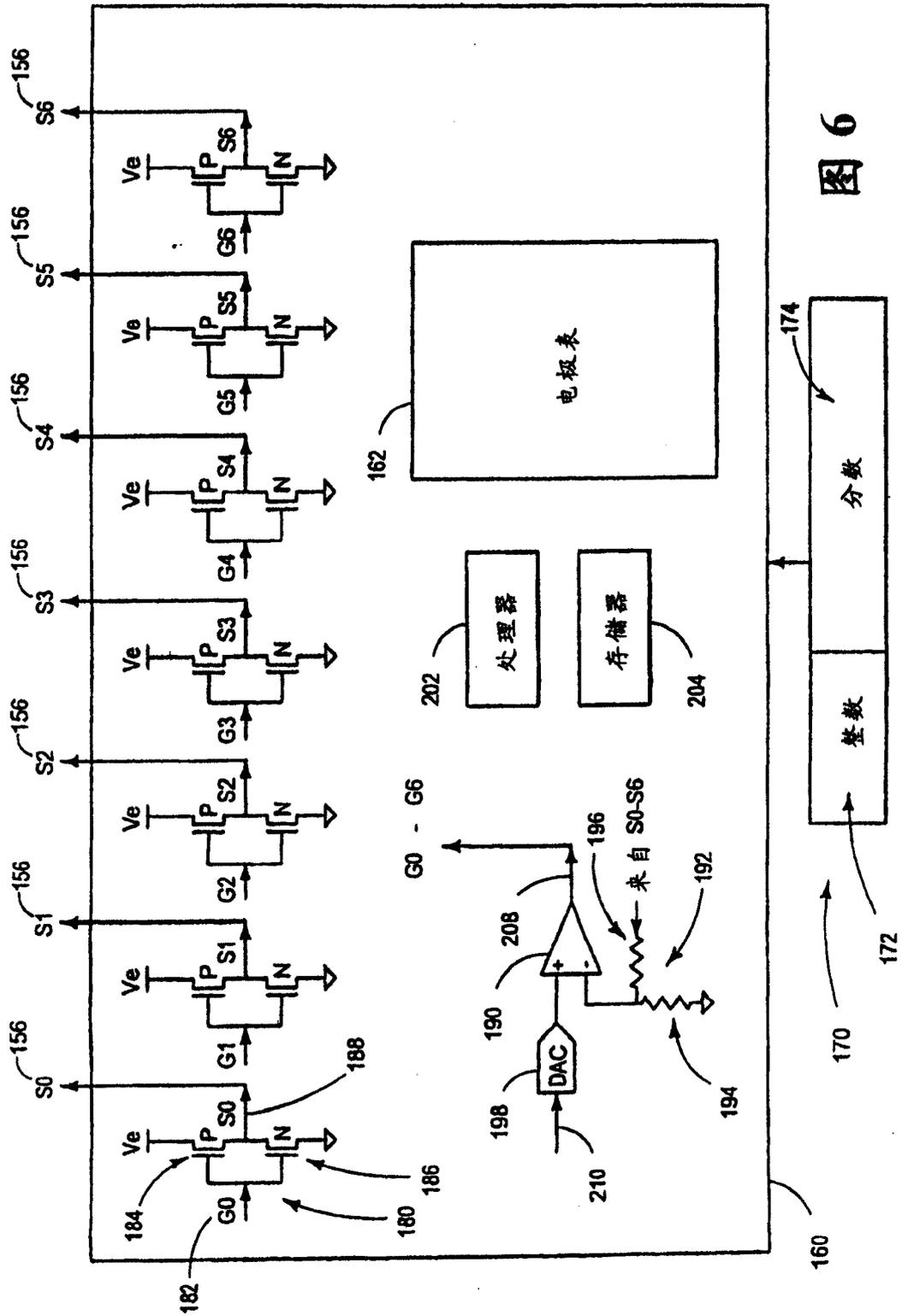


图 6