



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102422195 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 13

(21) 申请号 201080018344. 5

F16F 15/16(2006. 01)

(22) 申请日 2010. 04. 21

F16F 15/12(2006. 01)

(30) 优先权数据

61/171, 952 2009. 04. 23 US

(56) 对比文件

US 2005/0111122 A1, 2005. 05. 26, 说明书第 0028、0029 段, 附图 6 和 7.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 10. 21

JP 昭 55-54742 A, 1980. 04. 22, 说明书第 2-5 栏, 附图 5.

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/031875 2010. 04. 21

CN 101173674 A, 2008. 05. 07, 说明书第 8 页第 3 段.

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/123977 EN 2010. 10. 28

审查员 杨婧

(73) 专利权人 剑桥技术股份有限公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 D·C·布朗 A·I·皮纳德

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 张欣

(51) Int. Cl.

G02B 7/182(2006. 01)

G02B 26/10(2006. 01)

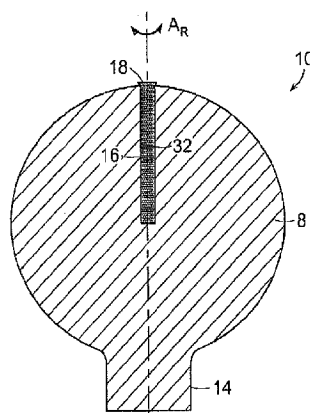
权利要求书2页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

提供耦合至受限旋转的马达的改进性能的扫描镜的系统与方法

(57) 摘要

公开了用于受限旋转的马达系统中的镜子 (10), 其中该镜子包括本体 (18)、本体中的孔 (16) 和孔中的高密度材料 (32)。该本体, 由一种或多种材料制成, 具有暴露的镜子表面, 且该本体可安装在受限旋转的马达系统中, 用于相对于镜子的旋转轴 (A_R) 而旋转。该孔至少邻近于镜子的旋转轴的一部分。在孔中提供有高密度材料, 以使其能在孔中移动, 且该高密度材料的密度大于镜子本体材料的密度。



1. 一种用于受限旋转的马达系统中的镜子,所述镜子包括:
本体,由至少一个材料制成,且具有暴露的镜子表面,所述本体可安装在受限旋转的马达系统上,用于相对于镜子的旋转轴而旋转;
位于所述镜子本体中的孔,所述孔至少邻近于所述镜子的旋转轴的一部分;以及
在所述孔中的高密度材料,其能在所述孔中相对于镜子本体而移动,所述高密度材料的密度大于所述镜子的本体的至少一种材料的密度。
2. 如权利要求 1 所述的镜子,其特征在于,所述高密度材料被提供为固体材料的颗粒。
3. 如权利要求 2 所述的镜子,其特征在于,所述颗粒被提供在所述孔中的弹性体材料中。
4. 如权利要求 2 所述的镜子,其特征在于,所述颗粒每一个具有在 1 微米到 5 微米范围之间的尺寸。
5. 如权利要求 2 所述的镜子,其特征在于,所述高密度材料由钨、衰竭的铀、钼、铅、铋中的任何材料来形成。
6. 如权利要求 1 所述的镜子,其特征在于,所述高密度材料被提供为流体。
7. 如权利要求 6 所述的镜子,其特征在于,所述流体是水银。
8. 如权利要求 1 所述的镜子,其特征在于,所述孔基本重合于镜子旋转轴的至少一部分。
9. 一种含有耦合至镜子的受限旋转的马达的扫描系统,所述受限旋转的马达包括转子轴并且所述镜子被安装到所述转子轴以相对于镜子的旋转轴而旋转,且所述镜子包括:
具有暴露的镜子表面的本体,且所述本体耦合至所述受限旋转的马达的转子轴,用于相对于镜子的旋转轴而旋转;
位于所述镜子本体的孔中的高密度材料,所述孔至少邻近于所述镜子的旋转轴的一部分,并且所述高密度材料能在所述孔中相对于镜子本体而移动,且所述高密度材料的密度大于所述镜子的本体的密度。
10. 如权利要求 9 所述的扫描系统,其特征在于,所述高密度材料被提供为固体材料的颗粒。
11. 如权利要求 10 所述的扫描系统,其特征在于,所述颗粒被提供在所述孔中的弹性体材料中。
12. 如权利要求 10 所述的扫描系统,其特征在于,所述颗粒每一个具有在 1 微米到 5 微米范围之间的尺寸。
13. 如权利要求 10 所述的扫描系统,其特征在于,所述高密度材料由钨、衰竭的铀、钼、铅、铋中的任何材料来形成。
14. 如权利要求 9 所述的扫描系统,其特征在于,所述高密度材料被提供为流体。
15. 如权利要求 14 所述的扫描系统,其特征在于,所述流体是水银。
16. 如权利要求 9 所述的扫描系统,其特征在于,所述孔基本重合于镜子旋转轴的至少一部分。
17. 一种用于衰减扫描系统中的振动的方法,所述扫描系统包括含有转子轴的受限旋转的马达和耦合至所述受限旋转的马达的转子轴以相对于镜子的旋转轴而旋转的镜子,所述方法包括以下步骤:

在所述镜子的孔中提供高密度材料,所述孔至少邻近于所述镜子的旋转轴的一部分;
通过应用经由所述转子轴由所述受限旋转的马达所施加到所述镜子上的扭矩,使镜子绕所述镜子的旋转轴而旋转;以及

由于镜子的移动中的振动而加速镜子中的高密度材料,藉此镜子中的高密度材料的加速吸收了来自振动的能量,藉此衰减了所述扫描系统中的振动。

18. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,所述高密度材料被提供为固体材料的颗粒。

19. 如权利要求 18 所述的方法,其特征在于,所述颗粒每一个具有在 1 微米到 5 微米范围之间的尺寸。

20. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,所述高密度材料由钨、衰竭的铀、钼、铅、铋中的任何材料来形成。

21. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,所述孔基本重合于镜子旋转轴的至少一部分。

22. 如权利要求 1 所述的镜子,其特征在于,所述高密度材料具有大于 $9.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度。

23. 如权利要求 9 所述的扫描系统,其特征在于,所述高密度材料具有大于 $9.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度。

24. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,所述高密度材料具有大于 $9.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度。

提供耦合至受限旋转的马达的改进性能的扫描镜的系统与方法

[0001] 优先权要求

[0002] 本申请要求在 2009 年 4 月 23 日提交的美国临时专利申请系列号为 61/081,601 的优先权,该申请的公开内容通过引用整体结合于此。

[0003] 背景

[0004] 本发明一般涉在受限旋转的马达系统中的减振系统,且特别涉及用于高速的受限旋转的马达系统(诸如电流计扫描系统之类)中的镜子。

[0005] 在一般的电流计扫描系统中,镜子被安装在受限旋转的马达的输出轴上,且该受限旋转的马达由控制环所述控制,该控制环寻求导致马达转子、且由此该镜子,以任意高的精确度来跟随位置及速度命令波形。

[0006] 然而,在系统可跟随命令的精确度方面存在限制。例如,系统中镜子的加速度受限与马达绕组中电流的上升率。位置精度受限与反馈方法的信号与噪声比。系统的带宽(这是系统以所需要的较高的速度从位置 A 移动到位置 B,然后在尽可能短的时间内准确地稳定在位置 B 的能力)主要受限与移动部件中的振动。系统的带宽名义上(nominally)是移动结构中的第一扭转谐振的 1/2。

[0007] 因此,习惯性地在容许的系统惯性的限制内,使移动部件尽可能的刚性。由于为达到特定加速度,马达所需要的扭矩直接与该惯性成比例,且与电流(如上所述其上升率受限)成比例,经常会出现这样的情况,当为特定惯性而优化了系统参数的时候,一些组件、一般是镜子,即使是由非常高硬度-惯性(stiffness-to-inertia)的材料制成时,并不能达到系统带宽目标所需要的刚性。在这个情况下,需要为镜子添加额外的材料来增加其刚性,但是,为了附加惯性,需要大的、更昂贵的马达以及能驱动该额外惯性的控制环。

[0008] 因此,所需要的是一种受限旋转的马达系统,该系统在不需要较大的、更昂贵的马达及相应控制系统的情况下提供改进的带宽。

[0009] 概述

[0010] 根据实施例,本发明提供了用于受限旋转的马达系统中的镜子,其中该镜子包括本体、本体中的孔和孔中的高密度材料。该本体,由一个或多个材料制成,具有暴露的镜子表面,且该本体可安装在受限旋转的马达系统上用于相对于镜子的旋转轴而旋转。该孔至少邻近于镜子的旋转轴的一部分。在孔中提供有高密度材料,以使该材料能在孔中移动,且该高密度材料的密度大于镜子本体材料的密度。

[0011] 根据另一个实施例,本发明提供了含有耦合至镜子的受限旋转的马达的扫描系统。该受限旋转的马达包括转子轴,该镜子包括本体和在本体的孔中的高密度材料。该本体包括暴露的镜子表面,且该本体耦合至转子轴用于相对于镜子的旋转轴而旋转。高密度材料能在所述孔中相对于镜子本体而移动,且该高密度材料的密度大于镜子本体的密度。

[0012] 根据进一步的实施例,本发明提供用于在扫描系统中衰减(damping)振动的方法,该扫描系统包括含有转子轴的受限旋转的马达,并包括耦合至该转子轴的镜子。该方法包括以下步骤:通过应用经由该转子轴由该受限旋转的马达所施加到镜子上的扭矩,使镜

子绕镜子的旋转轴旋转；以及由于镜子的移动中的振动而加速镜子中的高密度材料，藉此镜子中的高密度材料的加速吸收了来自振动的能量，藉此衰减了扫描系统中的振动。

[0013] 附图简述

[0014] 通过参考附图可进一步理解以下描述，在附图中：

[0015] 图 1 示出根据本发明实施例的镜子的示意性图示；

[0016] 图 2 示出采用了图 1 的镜子的受限旋转的马达系统的示意性图示；

[0017] 图 3 示出图 1 沿其 3-3 线的镜子的示意性截面图；

[0018] 图 4A 和 4B 示出在对镜子施加扭矩动作之前和之后的图 1 的镜子的一部分的示意性的放大的截面图；

[0019] 图 5 示出图 1 的镜子的顶部的示意性的放大的截面图；

[0020] 图 6 示出根据本发明另一个实施例的镜子的顶部的示意性的放大的截面图；

[0021] 图 7 示出根据本发明进一步的实施例的镜子的顶部的示意性的放大的截面图；

[0022] 图 8A-D 示出对于使用没有阻尼的系统的四个扫描步长与所意在的目标的目标处理偏差的示意性视图；

[0023] 图 9A-D 示出对于使用根据本发明实施例的系统的四个扫描步长与图 8A-8D 中相同的所意在的目标的目标处理偏差的示意性视图；

[0024] 图 10 示出现有技术的镜子跟随非零加速度的摇摆振荡，以及与之相比较的根据本发明实施例的镜子的摇摆振荡的说明性图示；

[0025] 图 11 示出施加到受限旋转的马达上以将镜子从位置 A 移动到位置 B 的电压的说明性图示；

[0026] 图 12 示出响应于图 11 的电压在受限旋转的马达的定子绕组中的相关联的电流的说明性图示；

[0027] 图 13 示出使用根据本发明实施例的阻尼镜子的受限旋转的马达系统的响应的说明性图示；以及

[0028] 图 14 示出使用无阻尼镜子的受限旋转的马达的响应的说明性图示。

[0029] 这些附图仅为说明性目的而示。

[0030] 说明性实施例的具体描述

[0031] 在商用镜子，特别是大的镜子，的制造过程中，可能发生每个镜子的质心的部件与部件之间的显著的偏差 (part-to-part variations)。镜子质心关于旋转轴的这样的不一致，导致偏轴的振动。

[0032] 已经发现可衰减 (damp) 偏轴振动，以使它们的有效振动幅值比未衰减的同样的镜子小 5 倍。例如，由于稳定时间与带宽成反比，所以为 5×10^{-3} 秒的衰减振动周期的幅值小于为 2.5×10^{-2} 秒时的相应未衰减的幅值，容许快 5 倍的稳定或者大 5 倍的带宽。

[0033] 如图 1 中所示，根据本发明实施例的阻尼镜子 10 包括反射表面 12 和用于耦合至受限旋转的马达系统（如图 2 进一步所示）的安装底座 14。镜子 10 还包括位于镜子 12 的本体 8 中的圆柱形孔 16，以及将该孔与环境隔绝的暴露的盖 18。根据各实施例，孔 16 含有被容许在镜子 10 的孔 16 中移动的高密度材料。

[0034] 具体地，沿标称旋转轴在镜子的或者部分或者大部分长度上钻出小直径的洞以形成孔 16。洞的直径，例如，可在约 100 微米到 5000 微米之间，且优选地在 500 到 2000 微米

之间,更优选地可以是约 1000 微米。这个孔 16 可松松地填充有高密度颗粒,优选由钨、衰竭的铀、钼、铅、铋或类似高密度材料制成。在特定实施例中,高密度颗粒可具有大于约 $9.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度,在进一步实施例中,这些高密度颗粒可具有大于约 $12.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度。然后孔 16 的暴露端用盖 18 来关闭以留住这些高密度材料。

[0035] 如图 2 所示,扫描仪组件包括扫描仪马达 20,其具有耦合至安装了镜子 10 的轴的可旋转的转子。该扫描仪组件还包括换能器 22,用于监测附连在转子的一端上的轴的位置。镜子 10 和位置换能器 22 的每一个可在同一端附连在该转子上。该系统还包括反馈控制系统 24,其响应于来自输入节点 28 的输入命令信号和来自位置换能器 22 的反馈信号 30 来提供命令信号 26 给马达 22,以控制马达的速度和 / 或位置。该镜子 10 可经由本领域技术人员所已知的各种传统技术来耦合至马达轴。

[0036] 当镜子被驱动以使由表面 12 反射向工作表面的激光束从第一位置(如,工作表面上的点 A)移动到第二位置(如,工作表面上的点 B)时,马达必需首先克服镜子的惯性(如,从静止不动(stand still)),非常快速地旋转该镜子,然后在第二位置非常快速地停止该镜子的移动,以使在点 B 的激光处理可以开始。镜子中的制造变形和缺陷可导致以各种频率发生的谐振,这可导致损坏激光的定位。

[0037] 参看图 3,这是示出图 1 沿其 3-3 线的镜子的示意性截面图,该孔可充满包括高密度颗粒 32 的阻尼材料,例如是钨、衰竭的铀、钼、铅、铋,且具有颗粒尺寸为约 0.1 微米到约 100 微米,且优选地是从约 1 微米到 10 微米,更优选地是约 3 微米。另一方面,镜子 10 的本体 8 可由一种或多种低密度材料制成,诸如铝、钢、玻璃、诸如硅和 / 或锗之类的半导体材料、碳、钛和铍中的任一种以及上述材料的组合。在特定实施例中,低密度体材料可具有低于约 $9.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度,且在进一步实施例中,低密度体材料可具有低于约 $5\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度。

[0038] 由于阻尼材料是位于镜子的旋转中心 (A_R) 或非常接近镜子的旋转中心 (A_R),所以尽管其密度高但是几乎没有增加惯性。在镜子被马达加速的过程中,通过离心反应,阻尼材料被改变为远离旋转中心。在没有振动时,材料 32 应该沿洞 16 的壁堆积为稳定均匀的层,留出如图 4A 中所示的沿旋转轴的小面积的间隙。然而,在有振动存在的情况下,镜子的形状在振动频率下被变形,且洞的壁的变形加速了材料 32 以高速度撞到自身以及撞到壁,如图 4B 中所示。因此,振动的动能转换为阻尼材料的动能,然后被转换为碰撞的热量。通过能量转换,由于能量从振动中被移除,可在幅值上降低振动。

[0039] 如图 5 中所示,孔 16 可由颗粒 32 充满,这样在颗粒 32 和端盖 18 的内表面之间只有很小的空间或几乎没有空间。在实施例中,可将颗粒 32 压入孔或通过使整个镜子 10 经受超声振动而将颗粒 32 停留在(settle into)孔中。在使用的过程中这防止高密度颗粒经受太多移动,这移动可能改变镜子的质心,进而可导致显著的不平衡以及因此产生的振动。

[0040] 参看图 6,根据本发明的另一个实施例,镜子本体 48 中的孔 46 可由混合了弹性体材料 52 的高密度颗粒 50(诸如,例如,钨、衰竭的铀、钼、铅、铋中的任一种,且具有约 0.1 微米到约 100 微米之间的颗粒尺寸,且优选为约 1 微米到 5 微米)充满,且由盖 54 留住这些材料。所选的弹性体材料 52(诸如例如,任何常见的弹性体材料,诸如橡胶、硅、氟橡胶、聚亚安酯等)作用为留住颗粒且用作弹簧以将阻尼的响应调节到需要的频率或频率范围。也就是说,通过选择合适的弹性体材料,由于颗粒的移动受限於弹性体材料,可将镜子设计为减少在特定频率或频率范围内的振动。

[0041] 参看图 7, 根据进一步实施例, 镜子 68 中的孔 66 可包括高密度流体 70 (诸如水银), 这将能量分散为与其自身和壁之间摩擦的热量。在特定实施例中, 高密度流体可具有高于约 $9.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度, 且在进一步实施例中, 高密度流体可具有高于约 $12.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度。还有, 盖 72 将高密度流体密封在孔中以只容许少量的移动。

[0042] 图 8A-8D 示出对于使用现有技术的系统的四个扫描步长 (d_1, d_2, d_3, d_4) 与在 $x = 0, y = 0$ 处所意在的目标的目标处理偏差的示意性视图, 现有技术的系统含有一对设置为彼此成 90 度的镜子 - 电流计 - 伺服系统, 以使一个系统在 x 方向移动激光束而另一个在 y 方向移动激光束。这些散布图示出企图获得从点 A 到点 B ($x = 0, y = 0$) 的步进移动的多重性, 点 B 示在每个图上。从点 A 到点 B 的距离是变化的, 随着每个步长 d_0 到 d_1 到 d_2 到 d_3 到 d_4 而增加。散布图的在 x 和 y 方向上各自的总体尺寸是在获得点 A 和点 B 之间的所需移动时系统误差的测量。

[0043] 时间 t_1 时的加速电流脉冲导致两个系统中的振动, 如下详细描述的那样。在阻尼系统中, 在反向加速脉冲施加之前振动就消失 (die out) (如下文参看图 13 所进一步描述的那样)。反之, 在无阻尼系统中该振动持续 (如下文参看图 14 所进一步描述的那样)。当反向脉冲施加到无阻尼系统时, 该脉冲几何地增加了原始振动的相位, 且其大体上是在幅值上无限制的。新的幅值约为原始幅值的 10 倍, 且在这种情况下在位置改变命令脉冲结束之后新的幅值还要保持这个讨厌的幅值很多微秒。

[0044] 这个相位依赖的效果可见于图 8A 到 8D 中, 其中点 A 和点 B 之间任意选择的距离的每一个都具有在时间 t_1 产生的振动和在时间 t_3 产生的振动之间的不同的相位差, 结果是图 8A 中的最小的步长 d_0 - d_1 和图 8D 中的最大的步长 d_3 - d_4 均具有接近 180 度的相位差, 这样来自第二脉冲的振动基本消除了来自第一脉冲的振动, 结果是散布的幅值是小的且可以接受的, 而两个中间距离的步长 d_1 - d_2 (图 8B) 和 d_2 - d_3 (图 8C) 都具有接近于零的相位差, 这样来自时间 t_1 的脉冲和来自时间 t_3 的脉冲的振动在幅值上叠加在一起, 基本增加了散布的幅值。

[0045] 还可从图 9A 到图 9D 中看到, 这些是带有阻尼的同样的镜子的同一个系统执行同样的步骤的散布图, 阻尼的结果是对于所有的步长, 不管振动的相位, 而产生大致相同尺寸的散布图。由于用特定系统预测特定步长的振动的相位是不实际的, 所以可选择阻尼颗粒的尺寸来提供在一定范围内的阻尼, 该范围适于衰减整个所关注的振动频谱。

[0046] 图 8A-8D 和 9A-9D 意在示出使用同样的有缺陷的镜子, 两者带有 (图 9A-9D) 和不带有 (图 8A-8D) 附加高密度材料, 对于所有步长 d_1, d_2, d_3 和 d_4 在目标处理上可获得改进。这些附图仅为说明性目的而示。

[0047] 图 10 示出现有技术的镜子和根据本发明实施例的镜子的摇摆振荡的示意图。如 100 处所示, 现有技术的镜子显著振荡大于 0.25 秒 (2.5×10^{-2}), 且实际上在马达停止 (在 0.00) 之后经历了最大振荡幅值 (如 102 处所示)。如 104 处所示, 根据本发明实施例的镜子在马达停止 (在 0.00) 之后立即减少了振荡的幅值, 在仅 0.01 (1.00×10^{-2}) 秒之后如 106 处示出显著地减少了振荡。因此, 本发明的系统的阻尼响应永远没有达到无阻尼系统的动作的峰值幅值, 且进一步在命令结束之后 5×10^{-3} 秒, 振动已经低于无阻尼系统在 2.5×10^{-2} 秒时的振动, 提供了增益因子为 5 的稳定时间。

[0048] 参看图 11 到 14, 镜子由于将其从第一位置 (提供第一激光点 A) 驱动到第二位置

(提供第二激光点 A) 的控制信号的作用的移动如下。基本上,图 14 示出与跨马达的电压(如图 11 所示)、流过马达的电流(如图 12 所示)共用一个时间比例的无阻尼镜子的移动振动。图 13 示出在同样时间比例上的系统的阻尼响应。时间 t_1 时的加速电流脉冲导致两个系统中的振动,如图 13 和 14 所示。在阻尼系统(图 13)中,如图 13 所示,在施加反向加速信号之前振动消失。反之,在无阻尼系统中,如图 14 所示,振动一直保持。

[0049] 具体地,图 13 示出受限旋转的马达的定子的电压起先被增加到电压 $+v$,且定子上的电压电势在时间 t_1 到 t_2 快速地斜变上升该电压,如 110 处所示。然后,电压在时间 t_2 处停止,然后在时间 t_3 ,施加负电压,如 112 处所示,以使转子停止。类似地,如 120 处所示,电流从时间 t_1 到时间 t_2 斜变上升,然后下降,直到时间 t_3 。从时间 t_3 到 t_4 ,施加负电流,如 122 所示,来停止镜子的移动。当镜子停止的时候,电流再次下降,直到时间 t_5 。

[0050] 如图 13 中所示,在正电流在时间 t_1 首次施加的时候,根据本发明的实施例的阻尼镜子的移动具有一些初始振荡(如 130 处所示),不过这些振荡在时间 t_3 施加负电流(反向加速脉冲)的很久之前就快速地消失了。再一次,当在时间 t_3 首次施加负电流的时候,镜子具有一些初始振荡(如 132 处所示),这些振荡在镜子在时间 t_5 达到所需位置的很久之前就快速地消失了。反之如图 14 中所示,在使用无阻尼镜子的时候,当在时间 t_1 首次施加正电流的时候,镜子具有一些初始振荡(如 140 处所示),但是这些振荡在时间 t_3 之前没有消失,此时它们被放大(如 142 和 144 处所示)。尽管这些振荡在时间 t_5 之前是被减少了,但一些振荡仍保持(如 146 处所示),且这些振荡将负面地影响在时间 t_5 时发生的任何激光处理的准确性。当反向脉冲被施加到无阻尼系统时,该脉冲几何地增加了原始振动的相位,且其大体上是在幅值上无限制的。如图 14 所示,新的幅值约为原始幅值的 10 倍,且在这种情况下在位置改变命令脉冲结束之后新的幅值还要保持这个讨厌的幅值很多微秒。

[0051] 这个相位依赖的效果可见于图 8A 到 8D 中,其中点 A 和点 B 之间任意选择的距离的每一个具有不同相位差,与之相关的,在时间 t_1 发出振动和在时间 t_3 发出进一步振动,结果是在图 8A 中的最小的步长 d_0-d_1 和图 8D 中的最大的步长 d_3-d_4 均具有接近 180 度的相位差,这样来自第二脉冲的振动基本消除了来自第一脉冲的振动,而两个中间距离的步长 d_1-d_2 (图 8B) 和 d_2-d_3 (图 8C) 具有接近于零的相位差,这样来自时间 t_1 的脉冲和来自时间 t_3 的脉冲的振动在幅值上叠加在一起。

[0052] 本领域普通技术人员将理解可对以上公开的实施例进行诸多修改和变化而不背离本发明的精神和范围。

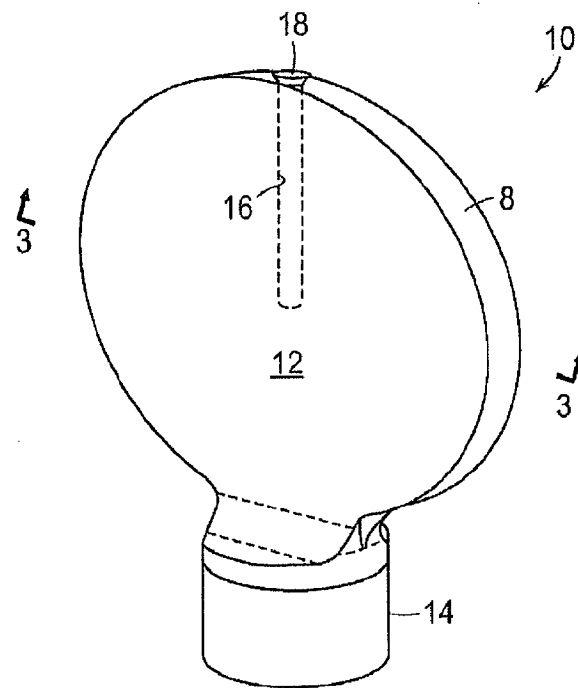


图 1

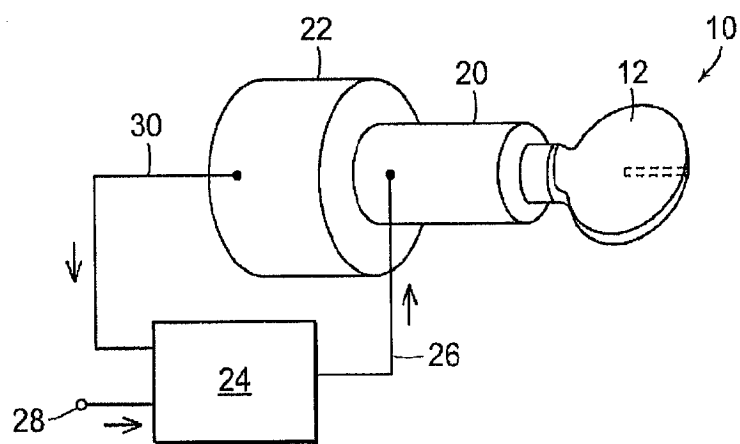


图 2

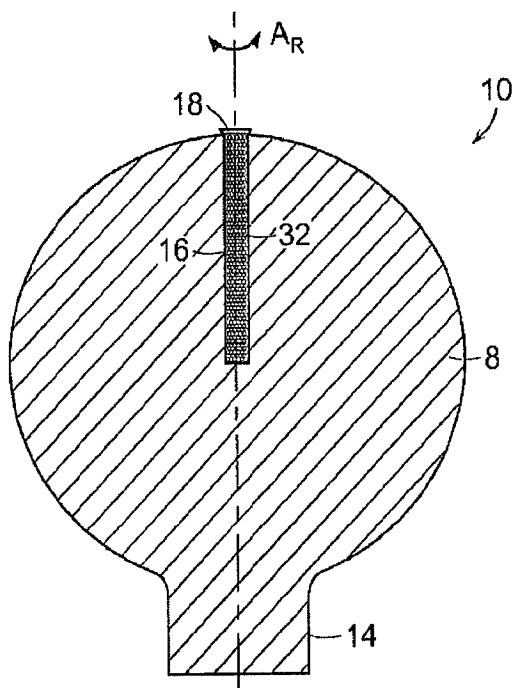


图 3

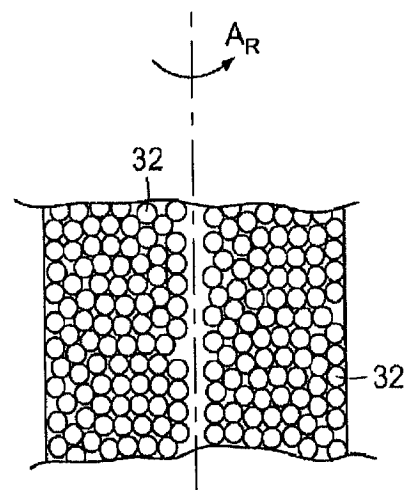


图 4A

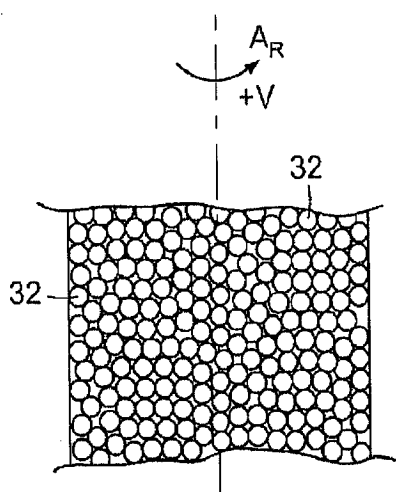


图 4B

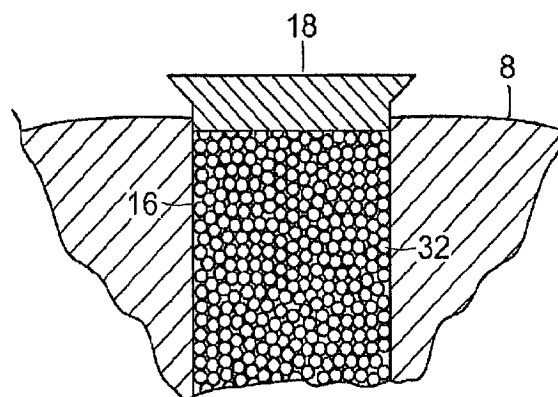


图 5

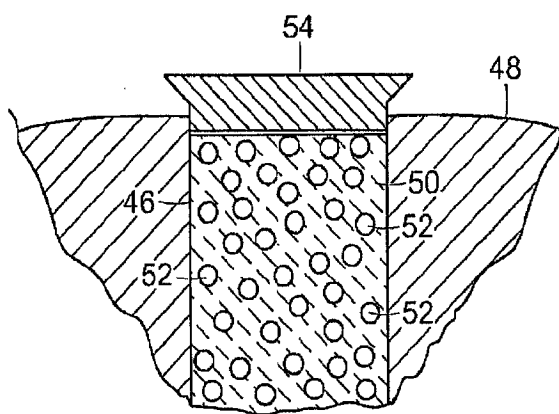


图 6

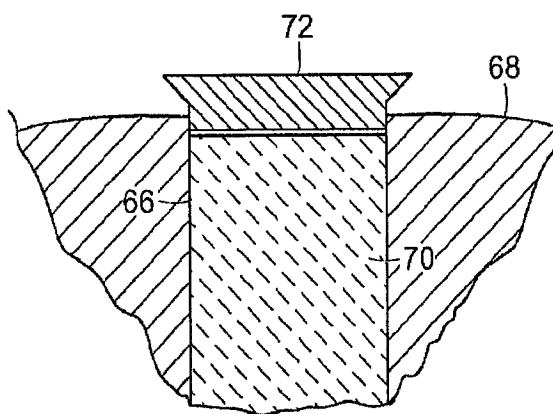


图 7

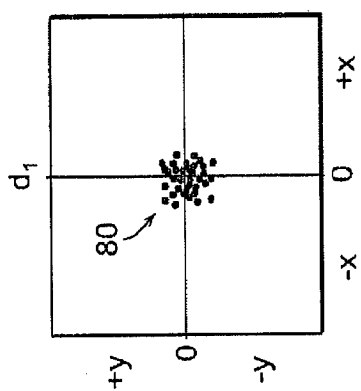


图 8A

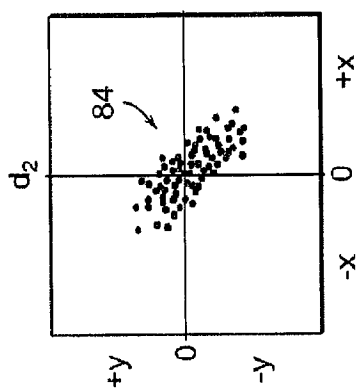


图 8B

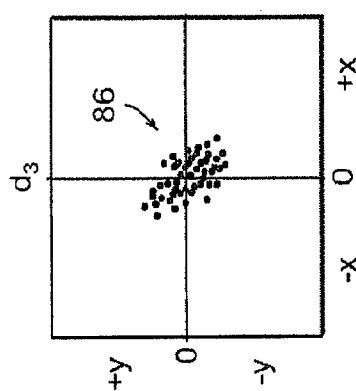


图 8C

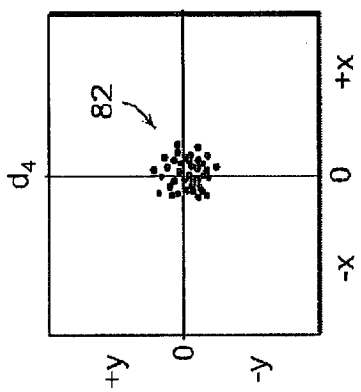


图 8D

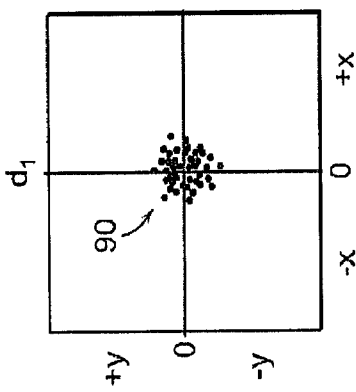


图 9A

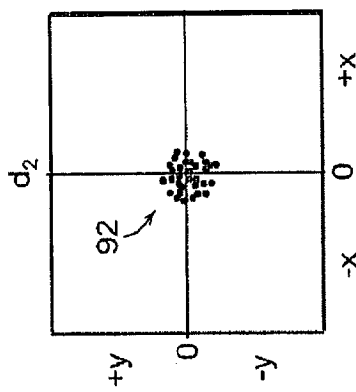


图 9B

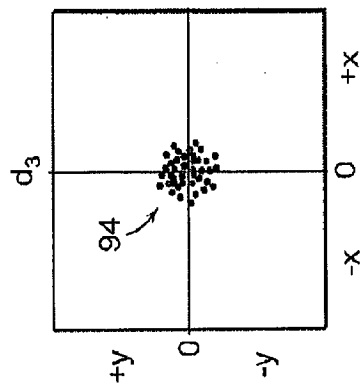


图 9C

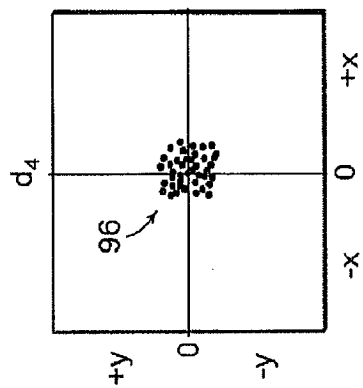


图 9D

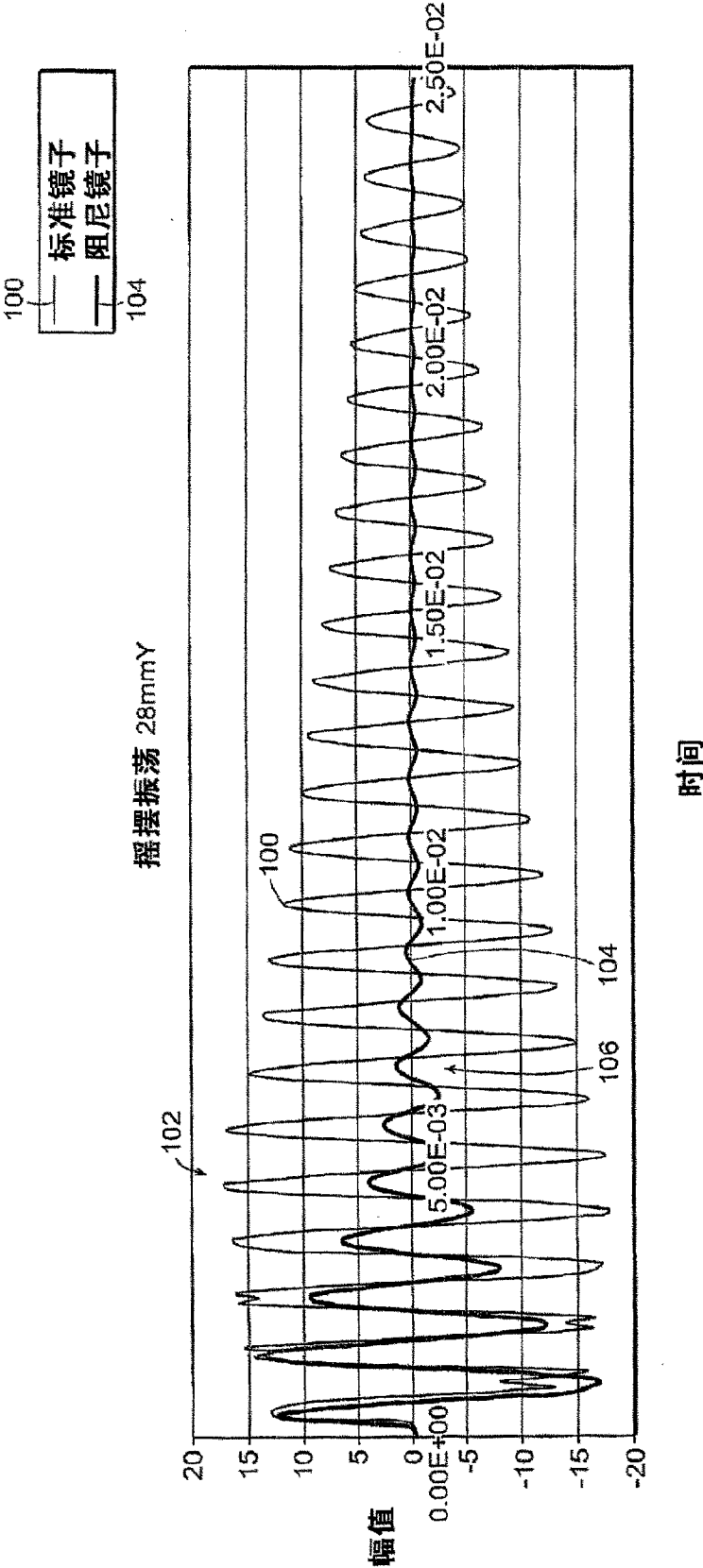


图 10

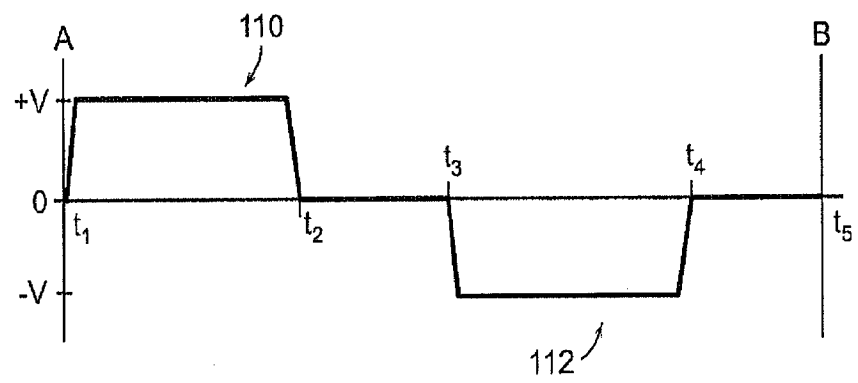


图 11

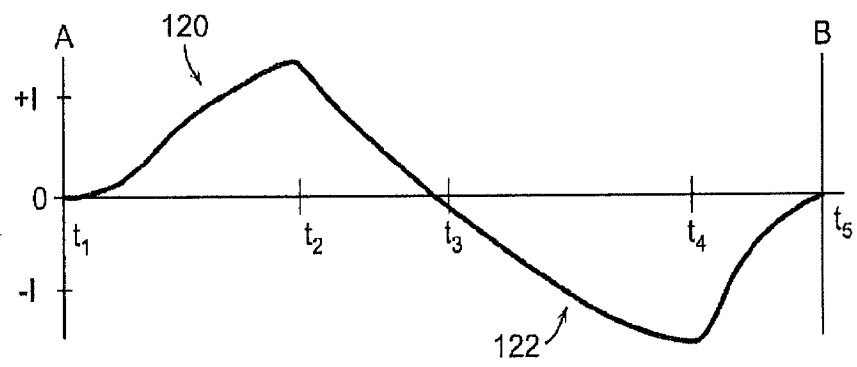


图 12

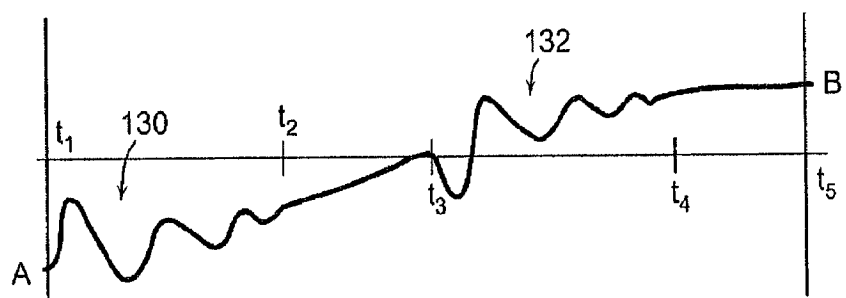


图 13

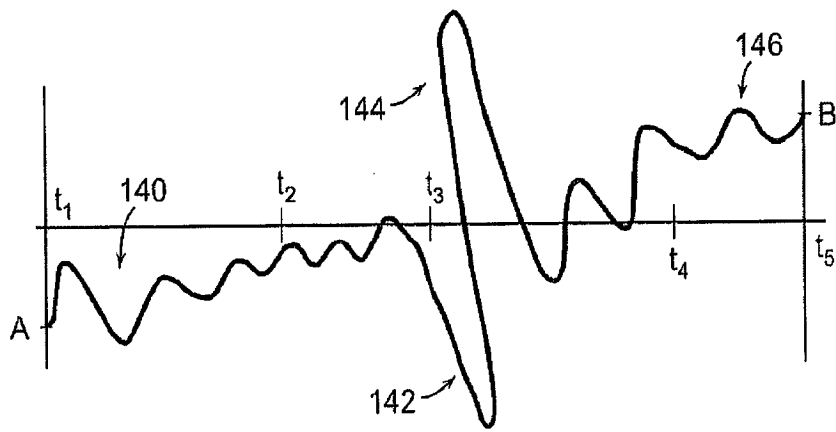


图 14