

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1609999 B

(45) 授权公告日 2010.04.07

(21) 申请号 200410078589.3

US 6366416 B1, 2002.04.02, 说明书第 4 栏

(22) 申请日 2004.09.15

55 - 64 行, 第 7 栏 13 行 - 24 行, 第 8 栏 21 - 28 行.

(30) 优先权数据

10/691,752 2003.10.22 US

审查员 金曦

(73) 专利权人 日立环球储存科技荷兰有限公司

地址 荷兰阿姆斯特丹

(72) 发明人 彼得·M·鲍姆加特

伯恩哈德·尼吉 马修·马特

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 邸万奎 黄小临

(51) Int. Cl.

G11B 33/00 (2006.01)

G11B 21/02 (2006.01)

(56) 对比文件

US 6105421 A, 2000.08.22, 全文.

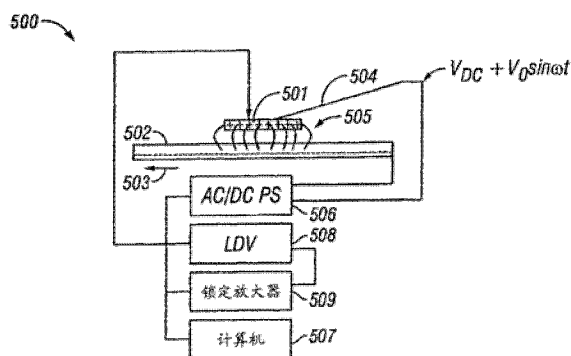
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 6 页

(54) 发明名称

在头 / 盘接口具有主动受控电位的磁记录盘驱动器

(57) 摘要

基于滑动器体和硬盘之间的滑动器体的浮动高度间隔, 来消除滑动器体和硬盘驱动器的硬盘之间的电位差。在滑动器体和硬盘之间施加预定偏压, 其包括 DC 分量、AC 分量, 并且其基于检测出的滑动器体的浮动高度间隔。在预定偏压的 DC 分量改变时, 可以在 AC 分量的频率处, 基于滑动器 - 盘间隙从滑动器的设计浮动高度的最小改变, 来检测浮动高度间隔。另一方面, 在 DC 分量改变时, 可以基于滑动器对 AC 分量的 AC 频率的第一谐波的最小电动力响应, 来检测浮动高度间隔。



1. 一种硬盘驱动器，包括：

至少一个硬盘；

至少一个对应于每个盘的滑动器体；

偏压源，用于在滑动器体和对应的硬盘之间施加预定偏压，预定偏压包括 DC 分量和 AC 分量，并且，该预定偏压基于滑动器体的浮动高度间隔而被确定。

2. 根据权利要求 1 的硬盘驱动器，其中，在预定偏压的 DC 分量改变时，基于在 AC 分量的频率处的滑动器体到盘间隙从滑动器体的设计浮动高度的最小改变，而确定预定偏压。

3. 根据权利要求 1 的硬盘驱动器，其中，基于在 DC 分量改变时的滑动器体对 AC 分量的 AC 频率的第一谐波的最小电动力响应，而检测该浮动高度间隔。

4. 根据权利要求 1 的硬盘驱动器，其中，使用激光多普勒振动计来检测滑动器体的浮动高度间隔。

5. 根据权利要求 1 的硬盘驱动器，其中，当 DC 分量的大小改变时，通过滑动器体上的读取元件读出在 AC 分量的频率的磁读回信号，来检测滑动器体的浮动高度间隔。

6. 根据权利要求 5 的硬盘驱动器，其中，AC 分量为扫频 AC 信号。

7. 根据权利要求 5 的硬盘驱动器，其中，AC 分量为单频 AC 信号。

8. 根据权利要求 5 的硬盘驱动器，其中，检测出的磁读回信号为与滑动器体相对硬盘的位置有关的定位错误信号。

9. 根据权利要求 1 的硬盘驱动器，其中，基于在 DC 分量改变时的滑动器体和硬盘之间的最小干扰，而检测该浮动高度间隔。

10. 根据权利要求 1 的硬盘驱动器，其中，将预定偏压与硬盘相关地施加到滑动器体。

11. 根据权利要求 1 的硬盘驱动器，其中，将预定偏压与滑动器体相关地施加到硬盘。

12. 根据权利要求 1 的硬盘驱动器，其中，基于在 DC 分量改变时的流入和流出滑动器体的电流的最小改变，而检测该浮动高度间隔。

13. 根据权利要求 1 的硬盘驱动器，其中，基于检测出的滑动器体和硬盘之间的干扰电平，而检测该浮动高度间隔。

14. 根据权利要求 13 的硬盘驱动器，其中滑动器体包括磁阻元件，以及

其中，基于在 DC 分量变化时的磁阻元件的最小阻抗，而确定检测出的滑动器体和硬盘之间的干扰电平。

15. 根据权利要求 13 的硬盘驱动器，其中，基于在 DC 分量改变时的感应滑动器体和硬盘之间的接触的压电传感器的输出，而确定检测出的滑动器体和硬盘之间的干扰电平。

16. 根据权利要求 13 的硬盘驱动器，其中，基于在 DC 分量改变时的感应滑动器体和硬盘之间的接触的声发射传感器的输出，而确定检测出的滑动器体和硬盘之间的干扰电平。

17. 根据权利要求 13 的硬盘驱动器，其中，将预定偏压与硬盘相关地施加到滑动器体。

18. 根据权利要求 13 的硬盘驱动器，其中，将预定偏压与滑动器体相关地施加到硬盘。

19. 根据权利要求 13 的硬盘驱动器，其中，偏压源基于检测出的滑动器体和硬盘之间的干扰电平，来控制预定偏压的大小。

在头 / 盘接口具有主动受控电位的磁记录盘驱动器

技术领域

[0001] 本发明涉及硬盘驱动器 (HDD)。更具体地说, 本发明涉及用于检测及消除 HDD 的滑动器体 (slider body) 和盘表面之间的电位差的技术, 如由滑动器和盘之间的材料差异、或由摩擦充电 (tribocharging) 产生的电位引起的接触电位。

背景技术

[0002] 图 1 示出了具有双级伺服系统的示范的硬盘驱动器 (HDD)100, 其用于在磁盘 102 上选择的同心数据信息轨道之上定位滑动组件 101, 以写入数据到所选的轨道和 / 或从所选的轨道读取数据。 HDD 100 的双级伺服系统包括: 主传动器 104, 如旋转音圈电机 (VCM), 用于对传动器臂 105 和读 / 写机头悬挂 (head suspension)106 粗略定位; 以及次级传动器 (图 1 中未示出), 如微传动器或微定位器, 用于将滑动组件 101 精确定位在所选的轨道之上。在此处使用的微传动器为被放置于悬挂和滑动器之间、并相对该悬挂移动该滑动器的小传动器。滑动组件 101 包括读 / 写机头 (图 1 中未示出), 其具有分别从所选的数据轨道读取数据和将数据写入到所选的数据轨道的读取元件以及写入元件, 该读取元件如大磁阻 (GMR) 元件。将 HDD 100 示出为仅具有单磁盘 102, 而 HDD 通常具有多个层叠的、普通旋转的、固定的磁盘以及对应数目的传动臂、读 / 写机头悬挂、次级传动器以及滑动组件。

[0003] 当滑动头到磁盘的间距变为小于 10 纳米时, 滑动头和磁盘之间的静电力和分子间力变得格外显著。即使当滑动器体和磁盘均接地时, 在滑动器体和盘之间也可存在电位差, 其可生成大于范德瓦尔斯力 (van der Waals force) 的静电力。该电位差的一个来源是在滑动器体上的绝缘材料的摩擦充电或摩擦起电。(例如, 参看 J.D.Kiely et al., “Tribocharging of the magnetic hard disk drive head-disk interface(磁硬盘驱动器机头 - 盘接口的摩擦充电),” Journal of Applied Physics(应用物理期刊), Vol.91, No.7, pp.4631-4636, 2002 年 4 月 1 日)。另一个来源是盘和滑动器体的导电材料之间的接触电位。

[0004] 图 2 描述了可存在于硬盘驱动器的滑动器体 201 和硬盘 202 之间的静电场。未示出支持滑动器体 201 的悬挂。随着盘 202 的旋转, 盘 202 相对于滑动器体 201 从右向左移动, 如箭头 203 所表示。滑动器 - 盘接口的放大图 204 示出了一些线, 表示由滑动器体 201 和盘 202 之间的电位差形成的电场 205。电场 205 沿着滑动器体 202 的长度, 存在于的滑动器体 201 和盘 202 之间, 但由于电场 205 的强度在滑动器体 201 的拖尾边缘最大, 所以仅在放大图 204 中表示了电场 205。如已提到的, 电位差的一个来源是由具有不同工作职能的滑动器体和盘的导电部分、以及由绝缘部分的摩擦充电引起的接触电位。电位差的另一个来源是与主轴马达轴承相关的摩擦充电, 其可从地电位显著地改变磁盘电位。

[0005] 滑动器体 201 和盘 202 之间的电场 205 生成静电力, 其作用在滑动器 - 盘接口内的滑动器体 201 以及盘 202 的表面。与电场 205 相关的静电力取决于滑动器 - 盘接口的

施加电压和其它物理参数。随着滑动器体和盘之间的电位差的增加，滑动器浮动高度从滑动器的设计浮动高度开始下降。

[0006] 例如，图 3 将用于高俯仰 (high-pitch) 空气轴承设计以及低俯仰 (low-pitch) 空气轴承设计的浮动高度 (FH) 示出为函数滑动器 - 盘电位差。所述空气轴承设计均具有盘之上 9 纳米的设计浮动高度。高俯仰滑动器具有 $180 \mu \text{ rad}$ (微弧度) 的动态俯仰角。低俯仰滑动器具有在 9 纳米的浮动高度的 70 微弧度的动态俯仰角。曲线 301 将高俯仰滑动器的浮动高度表示为滑动器 - 盘电位差的函数。曲线 302 将低俯仰滑动器的浮动高度表示为滑动器 - 盘电位差的函数。由于当静电力在滑动器之上积聚时，低俯仰设计比高俯仰设计具有平均更小的间隔距离，所以低俯仰滑动器对施加的 DC 电场比高俯仰滑动器更敏感。对于高俯仰空气轴承设计和低俯仰空气轴承设计来说，对于 0.5V 的电位差，浮动高度会减小大约 0.5 纳米。由于在 2.5V 处发生接触，可以推知低俯仰滑动器在 2.5V 处的浮动高度值为 0 纳米。

[0007] 在当前的硬驱动器中，使用具有长极链 (long polar chain)，如 Fomblin(福柏林) Z-DOL 的全氟聚醚类 (perfluoropolyether-type) 润滑剂来润滑盘。在机头 - 盘接口处的静电场存在时，润滑剂的极性可致使润滑剂从盘表面被移除，并且可能从盘表面耗尽该润滑剂。通常由滑动器收集移除的润滑剂，并可导致驱动故障。因此，随着润滑剂被移除，润滑剂的极性和静电力将润滑剂附着到滑动器体 201，并且，该润滑剂变得集中在滑动器体 201 上具有高电场的区域，如滑动器体的拖尾边缘。一旦被集中，润滑剂可形成小滴，在润滑剂的小滴进入机头 - 盘接口时，所述小滴可导致读 / 写错误。电场 205 也可将粒子吸引到滑动器体 201 之上，可导致滑动器体 201 和盘 202 表面之上的划痕。而且，由静电场引起的另一个可能问题是滑动器体 201 和盘 202 之间增加的震动耦合，其导致滑动器 - 盘间隔的更大调制。

[0008] 经过的这些年，很多研究者已发现：可通过调节施加到滑动器 - 盘接口的 DC 偏压来控制滑动器到磁盘间隔。例如，参看 E.T.Schreck 的美国专利第 6005736 号；Z.Feng et al. 的第 6529342 号；以及 D.W.Meyer et al 的第 6366416B1 号。

[0009] 因此，所需要的是用于确定应在滑动器体和盘之间施加的最佳偏压的技术，其用于消除滑动器体和盘之间存在的电位差，如接触电位。

发明内容

[0010] 本发明提供了用于确定应在滑动器体和盘之间施加的最佳偏压的技术，其为了消除滑动器体和盘之间存在的电位差，如接触电位。

[0011] 通过用于消除滑动器体和硬盘驱动器的硬盘之间存在的电位差的系统和方法，提供了本发明的优点。根据本发明，检测滑动器体和硬盘之间的滑动器体的浮动高度间隔。在滑动器体和硬盘之间施加预定的偏压，其包括 DC 分量和 AC 分量，并且基于检测出的滑动器体的浮动高度间隔。本发明的一个方面提出了：当预定偏压的 DC 分量改变时，在 AC 分量的某个频率处，基于确定滑动器到盘的间隙从滑动器的设计浮动高度的最小改变，来检测滑动器体的浮动高度间隔。本发明的另一个方面提出了：当 DC 分量改变时，基于检测滑动器对 AC 分量的 AC 频率的第一谐波的最小电动力响应，来检测滑动器体的浮动高度间隔。本发明的再一个方面提出了：当 DC 分量改变时，在 AC 分量的

某个频率处，基于滑动器体和硬盘之间的最小干涉，来检测滑动器体的浮动高度。

[0012] 本发明的一个实施例使用激光多普勒振动计来检测滑动器体的浮动高度间隔。本发明的另一个实施例基于磁读回 (magnetic readback) 信号的大小来检测滑动器体的浮动高度间隔，其中，当 DC 分量的大小改变时，在 AC 分量的某个频率处，由滑动器体上的读取元件读出该磁读回信号。对于本发明的这些实施例，AC 分量可为扫频 AC 信号或单频 AC 信号。本发明的再一个实施例在偏压的 DC 分量改变时，基于流入和流出滑动器体的电流的最小改变，来检测滑动器体的浮动高度。本发明的再一个实施例在 DC 分量改变时，基于磁阻元件的最小阻抗来检测滑动器体的浮动高度间隔。本发明的再一个实施例在 DC 分量改变时，基于感应滑动器体和硬盘之间的接触的压电传感器的输出、或声发射传感器来检测滑动器体的浮动高度间隔。

[0013] 可基于检测出的滑动器体的浮动高度间隔来控制预定电压的大小，如在 DC 分量改变时，通过确定滑动器到磁盘的间隙从滑动器的设计浮动高度的最小改变，或在 DC 分量改变时，通过确定滑动器体和硬盘之间的最小干涉来检测出滑动器体的浮动高度间隔。另一方面，可控制预定电压的大小，使得在 AC 分量的某个频率处，浮动高度间隔的变化幅度乘以浮动高度间隔的相位差的正弦为最小。

附图说明

[0014] 通过例子、并且不限于附图来描述本发明，附图中，相同的附图标记表示相同的元素，其中：

[0015] 图 1 示出了示范硬盘驱动器；

[0016] 图 2 描述了可存在于硬盘驱动器的硬盘和滑动器体之间的静电场；

[0017] 图 3 示出了两个不同的空气轴承设计的浮动高度，作为功能滑动器 - 盘电位差；

[0018] 图 4 描述了用于确定为了消除滑动器体和硬盘之间的电位差而应施加到滑动器体的最佳 DC 偏压的本发明的所有实施例的一般概念；

[0019] 图 5 描述了根据本发明使用激光多普勒振动计、用于确定应在滑动器体之间施加的最佳偏压的系统；

[0020] 图 6A 和 6B 分别示出了在对于不同 DC 偏压的空气轴承频率范围的示范滑动器体的第一和第二谐波响应；

[0021] 图 7A 和 7B 分别将示范滑动器体的第一谐波位移和相位示出为在单 AC 频率处的 DC 偏压的函数；

[0022] 图 8 描述了用于确定应当在滑动器体和硬盘之间施加的最佳 DC 偏压的本发明的第三实施例的第一配置；

[0023] 图 9 描述了用于确定应当在滑动器体和硬盘之间施加的最佳 DC 偏压的本发明的第三实施例的另一个配置；

[0024] 图 10 示出了当 $R_1 = 8M\Omega$ 、且 $R_2 = R_3 = 1M\Omega$ 时，图 9 中示出的替代电流传感电路的 rms Voutput 的图形；

[0025] 图 11 将示范 GMR 传感器的阻抗的图形示出为施加的 DC 偏压的函数；

[0026] 图 12 描述了根据本发明可用于确定应当在滑动器体之间施加的最佳偏压的示范压电压力传感器；

[0027] 图 13 将示范滑动器体的 AE 传感器的输出示出为具有 DC 分量和扫频 (swept-frequency) AC 分量的施加的偏压的函数；以及

[0028] 图 14 描述了根据本发明用于在滑动器体和硬盘之间施加最佳 DC 偏压的示范控制系统。

具体实施方式

[0029] 本发明提供了用于确定应在滑动器体和盘之间施加的最佳偏压的技术，其用于消除存在于滑动器体和盘之间的电位差，如由摩擦充电或滑动器和盘的材料差异引起的接触电位。通过消除滑动器体和盘之间的电场，滑动器浮动高度增加到滑动器的最大设计浮动高度。由静电力引起的润滑剂从盘表面的移除和耗尽也被消除。因此，由于润滑剂没有从盘中移除，所以润滑剂不会集中在滑动器体上的区域，并且不形成润滑剂小滴。由此，避免了由在机头 - 盘接口中的润滑剂小滴引起的读 / 写错误。此外，由于滑动器体和盘之间的静电力已被消除，所以减小了滑动器体和盘之间的振动耦合，由此消除了滑动器 - 盘间隔的调制。

[0030] 根据本发明，在滑动器体和盘之间施加具有 DC 分量加上扫频 AC 分量的偏压，并且在 DC 分量的大小改变时，检测滑动器对扫频 AC 分量的第一谐波的最小电动力响应，以确定滑动器和盘之间的接触电压，其中所述扫频 AC 分量优选处于空气轴承的范围内 (即 50kHz 到 500kHz)。可选地，偏压的 AC 分量具有固定的频率，其优选在空气轴承的范围内 (即 50kHz 到 500kHz)。DC 分量大小可变化的范围可为约 -5.0V DC 到约 +5.0V DC，并带有约 $1\mu\text{A}$ 的电流限制。AC 分量的大小优选应不超过约 300mV。

[0031] 本发明的第一方面利用滑动器体和硬盘作为开尔文探头，以在偏压的 DC 分量改变时，通过检测滑动器对偏压的 AC 分量的 AC 频率的第一谐波的最小电动力 (electrodynamic) 响应，来确定应在滑动器体和硬盘之间施加的最佳 DC 偏压。可使用外部激光多普勒振动计 (LDV) 或激光干涉计，和 / 或通过监测偏压的 AC 分量的频率的读回信号的大小，来检测滑动器的最小电动力响应。本发明的第二方面提出了：在 DC 偏压改变时，通过检测流入和流出滑动器体的电流变动的大小，来确定应当在滑动器体和盘之间施加的最佳 DC 偏压。本发明的第三方面提出了：通过检测滑动器和盘之间的干涉，来确定应当在滑动器体和盘之间施加的最佳 DC 偏压。应当理解，遍及本发明的说明书，如“最大滑动器 - 盘间隔”或“滑动器的最大浮动高度”之类的词语应理解为滑动器的设计浮动高度。

[0032] 图 4 描述了用于确定为了消除滑动器体 401 和硬盘 402 之间的电位差、而应施加到滑动器体的最佳 DC 偏压的本发明的所有实施例的一般概念。当磁盘 402 旋转时，磁盘 402 相对于滑动器体 401 从右向左移动，如箭头 403 所示。悬挂 404 支持滑动器体 401。虽然将磁盘 402 表示为处于地电位，但应当理解，磁盘 402 可具有与剩下的 HDD 或滑动器体相对的电位差，如由主轴马达轴承的摩擦充电引起的电位差。该实施例也可在将 DC 和 AC 电压施加到盘而不是滑动器体时工作。将 DC 偏压 V_{DC} 加上 AC 偏压 $V_0 \sin \omega t$ 通过悬挂 404 施加到滑动器体 401。在给出的 AC 频率下，改变 DC 偏压，以确定最小数量的滑动器 / 盘干涉。

[0033] 本发明的前两个实施例利用滑动器体和硬盘作为开尔文探头，以确定应在滑动

器和硬盘之间施加的最佳 DC 电压, 用于消除存在于滑动器体和盘之间的电位差, 如由摩擦充电引起的接触电位。通常说来, 开尔文探头为具有一个在 AC 频率处摆动的电极、以及其它固定电极的电容器, 类似于滑动器体和硬盘。在偏压的 DC 分量改变时, 通过检测滑动器对偏压的 AC 分量的 AC 频率的第一谐波的最小电动力响应, 来确定应在滑动器体和硬盘之间施加的最佳 DC 偏压。

[0034] 为描述本发明的开尔文探头的方面, 考虑在从不同材料形成的两个平行导电极之间作用的静电力 F_{el} , 其由下面的等式给出:

$$[0035] \quad F_{el} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{2d^2} V^2 \quad (1)$$

[0036] 其中, $\epsilon_0 \epsilon_r$ 为电极之间的电介质的磁导率 (permeability), A 为电极的面积, d 为电极的间隔距离, 并且 V 为电极间的电位差。

[0037] 当如图 4 所示的滑动器 - 盘接口是由等式 (1) 模拟时, 对于本发明来说, 电极间的电位差 V , 即滑动器和盘之间的电位差, 为外部施加的偏压和内部接触电位 $V_{contact}$ 的和。接触电位 $V_{contact}$ 为缺少施加电压时的两个电极之间的电位差, 并且, 由具有不同功函数的不同材料制成的电极生成该接触电位。例如, 参看 N.W.Ashcroft et al., 第 18 章, Solid State Physics(固态物理), Holt, Rinehart 和 Winston, 纽约, 1976。材料的功函数是从材料表面释放电子所需要能量的总数, 并且与材料的光学、电子和机械属性有关。当具有不同功函数的两个材料挨在一起时, 具有较高的功函数的材料中的电子流入具有较低的功函数的材料。当将材料制成平行电极电容器时, 在每个材料的相同和相反的表面上形成电荷。来自于相同和相反表面电荷的电容器的电极之间形成的电压被称为“接触电位”。对于滑动器 - 盘接口来说, 滑动器体的导电部分通常为熔结的 Al_2O_3 -TiC, 并且盘的导电部分通常为钴基的合金磁层。为摩擦保护而沉积的涂层和润滑剂可进一步调整滑动器体的材料和盘的导电部分各自的功函数。

[0038] 当一个电极 (即盘的导电部分) 接地、且将偏压 $V_{bias} = V_{DC} + V_{AC} \sin \omega t$ 施加到另一个电极 (即滑动器体) 时, 如图 4 所示, 经过数学处理之后, 静电力可写作:

$$[0039] \quad F_{el} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{4d^2} \left[2(V_{DC} + V_{contact})^2 + 4V_{AC}(V_{DC} + V_{contact}) \sin \omega t - V_{AC}^2 \cos 2\omega t + V_{AC}^2 \right] \quad (2)$$

[0040] 等式 (2) 中的方括号内的第一和最后项表示对施加的偏压 V_{bias} 的 DC 响应, 第二项表示对 V_{bias} 的第一谐波响应, 并且方括号内的第三项表示对 V_{bias} 的第二谐波响应。当施加的偏压 V_{bias} 的 DC 分量消去了接触电位 $V_{contact}$ 时 (即 $V_{DC} = -V_{contact}$), 第一谐波项变为 0。然而, 第二谐波项与施加的 DC 电压无关。因此, 当滑动器对施加的偏压 V_{bias} 的 AC 分量的第一谐波电动力响应等于 0 时 (即施加的 AC 分量的第一谐波处没有滑动器振动), 可检测出施加的偏压 V_{bias} 的最佳 DC 分量。

[0041] 本发明的第一实施例提供了可在盘驱动器打开时应用的技术。这里将描述的本发明的所有其它实施例可在盘驱动器密封时应用。根据本发明的第一实施例, 盘驱动器外部的激光多普勒振动计 (LDV) 用于在施加的偏压改变时, 确定滑动器到盘的最小间隙从滑动器的设计浮动高度的改变。图 5 描述了使用 LDV 来测量滑动器相对盘的浮动高度的系统 500。图 5 中, 当盘 502 从右向左相对滑动器体 501 移动时, 如箭头 503 所示, 滑动器体 501 通过悬挂 504 悬在硬盘 502 之上。从 AC/DC 电源 706 输出具有 DC 分量 V_{DC} 加上 AC 分量 $V_0 \sin \omega t$ 的偏压, 并且, 在滑动器体 501 和盘 502 之间施加该偏压。通过悬

挂 504 将偏压施加到滑动器体 501。偏压在计算机 507 的控制下变化。LDV 508 测量滑动器体 501 的拖尾边缘的速度。锁定 (lockin) 放大器 509 测量在 AC 驱动频率的 LDV 速度信号的第一和第二谐波, 该 AC 驱动频率通常为空气轴承频率。在 DC 偏压消去滑动器体 501 和盘 502 之间的接触电位时, AC 驱动频率的第一谐波减到最小。

[0042] 图 6A 和 6B 分别示出了对于 -0.5V、0V、以及 +0.5V DC 的 DC 偏压的空气轴承频率范围 (50kHz 到 500kHz) 的示范滑动器体的第一和第二谐波响应。对于所有 DC 偏压来说, 施加的偏压的 AC 分量的大小为 100mV。曲线 601 表示滑动器对具有 +0.5V 的 DC 分量的施加的偏压的第一谐波响应。曲线 602 表示滑动器对具有 0V DC 的 DC 分量的施加的偏压的第一谐波响应。曲线 603 表示滑动器对具有 -0.5V DC 的 DC 分量的施加的偏压的第一谐波响应。当将 +0.5V 的 DC 偏压 (曲线 601) 施加到滑动器体时, 第一谐波响应消失, 意味着对于滑动器 - 盘接口的 $V_{\text{contact}} = -0.5\text{V DC}$ 。此外, 曲线 601 证明滑动器 - 盘接口与开尔文探头表现相似。表示对施加的偏压的第二谐波的各自响应的曲线对于不同的施加偏压保持不变, 并且彼此基本不可分辨。由此, 没有分别指明第二谐波响应。注意, 施加的偏压的 AC 分量强烈地激励了约 320kHz 的第二俯仰模式频率, 而微弱地激励约 120kHz 的第一俯仰。

[0043] 不扫过所有空气轴承频率, 也可通过监测施加的偏压的 DC 分量值、并确定对施加的偏压的单频 AC 分量的第一谐波的电动力响应何时减到最小, 来简单地确定接触电位。单频 AC 分量的频率优选应为机械共振, 如悬挂共振、空气轴承共振或滑动器体共振。例如, 当该频率接近滑动器空气轴承的俯仰 2 模式频率时, 可达到高信噪比。图 7A 和 7B 分别将示范滑动器空气轴承共振的第一谐波位移和相位示出为对于具有约 100mV 大小的 290kHz AC 偏压的 DC 偏压的函数。图 7A 示出了当施加的偏压的单频 AC 分量的第一谐波的电动力响应减到最小时, 施加的偏压的 DC 分量约为 -0.4V DC。

[0044] 根据本发明的第二实施例, 如图 4 所示, 基于由滑动器体 401 上的读取元件读出的磁读回信号的相对大小, 最小滑动器到磁盘间隙从滑动器的设计浮动高度开始改变。也就是说, 当将滑动器体 401 正确地定位在所选的轨道之上时, 读回信号的最大大小 (magnitude) 随着施加的偏压的变化而变化。具体地说, 读回信号的最大大小与滑动器的浮动高度相反地变化。因此, 当滑动器的浮动高度最大时, 也就是说, 处于滑动器的设计浮动高度时, 读回信号的最大大小将为相对最小。当滑动器的浮动高度小于滑动器的设计浮动高度时, 读回信号的最大大小将大于当滑动器处于设计浮动高度时的大小。然而, 对于高俯仰滑动器来说, 对于 0V DC 和 0.5V DC 之间的接触电位, 浮动高度将从设计浮动高度改变约 0.1 纳米或更小。由此, 读回信号的大小的改变很可能不可检测。为获得读回信号的改善的信噪比 (SNR), 必须将读回信号的幅度正好滤波到 AC 分量的频率。当使用扫频 AC 分量时, 则可使用频率选择装置, 如锁定放大器。当使用单频 AC 分量时, 可使用 AC 分量的频率的选通 (notch-pass) 滤波器。随后, 当监测滤波的读回信号时, DC 分量变化。当滤波的读回信号大小为最小时, 施加的偏压的 DC 分量等于接触电位。根据本发明的第一实施例的替换配置, 可基于以众所周知的方法生成的位置错误信号 (PES) 来识别最大滑动器 - 盘间隔。对于本发明的第三实施例, 尽管使用 AC 分量较容易检测在浮动高度中的改变的减为 0 的 AC 分量, 也没有必要使用施加的偏压的 AC 分量来确定最佳 DC 偏压。

[0045] 本发明的第三实施例提出了：在 DC 偏压变化时，通过识别流入和流出滑动器的最小电流变化，来检测应当施加到滑动器体的最佳 DC 偏压。图 8 描述了本发明的第三实施例的第一配置，其用于确定为了消除滑动器体 801 和硬盘 802 之间的电位差、而应施加到滑动器体的最佳 DC 偏压。当盘 802 旋转时，盘 802 从右向左相对滑动器体 801 移动，如箭头 803 所示。悬挂 804 支撑滑动器体 801。当指明盘 802 处于地电位时，应当理解，盘 802 可包括相对于 HDD 的电位。根据用于识别最佳 DC 偏压的本发明的第三实施例，DC 偏压 V_{DC} 通过悬挂 804 被施加到滑动器体 801 (AC 电压 $V_0 = 0$)，并且，随后变化以识别流入和流出滑动器体 801 的电流的最小变化。将电流传感电路 805 通过悬挂 804 耦接到滑动器体。电流传感电路 805 包括放大器 806，其以与反馈电阻器 R 的反相拓扑配置。将偏压施加到放大器 806 的非反相输入。

[0046] 假定可忽略摩擦电流，并且滑动器 - 盘电阻为无限大，由下面的关系给出电流 i ： $i = (dC/dt)(V_C + V_{DC}) + C dV_C/dt$ ，其中 C 为滑动器 - 盘电容，并且 V_C 为接触电位。当盘的功函数一致时， $dV_C/dt \approx 0$ ，并且电流 i 主要从滑动器 - 盘电容的变化产生，其中由于浮动高度和俯仰的变化引起所述滑动器 - 盘电容的变化。当滑动器体 801 没有访问而浮动时，平均电容恒定，并且 dC/dt 的变化约为 0，于是当 $V_C = -V_{DC}$ 时，电流的 rms 调制最小。

[0047] 图 8 中的电流传感电路 805 测量电流 i 的 DC 和 AC 分量。图 9 中示出了本发明的第三实施例的替代配置，其中描述了用于仅测量电流 i 的变化中的 AC 分量的滑动器体 901、硬盘 902 以及电流传感电路 905。当盘 902 旋转时，盘 902 从右向左相对滑动器体 901 移动，如箭头 903 所示。悬挂 904 支撑滑动器体 901。当指明盘 902 处于地电位时，应当理解，盘 902 可包括相对于 HDD 的电位。电流传感电路 905 包括放大器 906，其以与设置增益的电阻器 R_2 和 R_3 的反向拓扑配置。电容器 C_1 使放大器 907 与滑动器体 901 及偏压源 V_{DC} 进行 DC- 隔离。电阻器 R_1 使偏压源 V_{DC} 与电容器 C_1 隔离。

[0048] 图 10 示出了用于替换图 9 示出的电流传感电路 905 的 rms V_{output} 的图形，其中 $R_1 = 8M\Omega$ 、且 $R_2 = R_3 = 1M\Omega$ 。从图 9 可以观察到，当施加的偏压的 DC 分量 V_{DC} 为 $-0.6V_{DC}$ 时，rms 电流的变化经过最小值。

[0049] 本发明的第四和第五实施例涉及：通过检测滑动器体和硬盘之间的最小干扰量，来确定应在滑动器体和硬盘之间施加的最佳 DC 偏压。对于第四和第五实施例来说，可将施加偏压的 AC 分量用于创建足够大的滑动器变化，以引发滑动器体和硬盘之间的接触。当滑动器浮动到与盘足够近时，例如，盘之上的 1 到 2 纳米，不需要施加偏压的 AC 分量来引发滑动器体和硬盘之间的接触。

[0050] 本发明的第五实施例提出了：通过使用压电 (PZT) 传感器来识别最大滑动器 - 盘间隔，来检测应在滑动器体和硬盘之间施加的最佳 DC 偏压。图 12 示出了滑动器体 1201、悬挂 1202 和弯曲部分 1203 的示范放置的侧视图，弯曲部分 1203 具有示范的压电压力传感器 1204，用于当滑动器体 1201 在 1206 处接触盘 (未示出) 时，感应弯曲部分 1203 在凹坑 1205 处对悬挂 1202 施加的压力。压电压力传感器 1204 作为弯曲部分 1203 的完整部分构成，如在共同未决和共同转让的专利申请 (律师案号第 HSJ920030073US1 号) 以及专利申请 (律师案号第 HSJ920030230US1 号) 所披露的，其均通过引用合并于此。当滑动器体 1201 接触盘时 (图 12 中未示出)，压电压力传感器 1204 检测机头 - 盘干

扰 (HDI)。当滑动器体 1201 的浮动高度为最大时,也就是说,处于滑动器的设计浮动高度时,压电压力传感器 1204 的输出为最小。根据本发明的第四实施例的替换配置,可使用声发射 (AE) 传感器来替代压电压力传感器,此情况中,当声发射传感器的输出为最小时,将产生对滑动器的最大浮动高度的检测。图 13 将 AE 传感器对示范滑动器的输出示出为具有 DC 分量的施加偏压的函数。曲线 1301 表示 AE 传感器在 20 分钟之后的输出。曲线 1302 表示 AE 传感器在 17 小时之后的输出。

[0051] 注意,没有将图 11 所示的 GMR 传感器的最小阻抗点、以及 AE 传感器的最小输出点清楚地定义为图 7 所示的、检测出的从设计浮动高度的最小位移点。因此,和基于检测滑动器体和硬盘之间的最小干涉的本发明的实施例相比,基于开尔文探头的本发明的实施例提出了确定应在滑动器体和硬盘之间施加的最佳 DC 偏压的更先进的技术。

[0052] 可通过反馈回路来控制滑动器体和盘之间施加的偏压,其中所述反馈回路调节施加偏压的 DC 分量 V_{DC} ,以将 $A \sin \theta$ 保持在几乎为零,其中 A 为滑动器 - 盘间隔在 ω 下的变化幅度,并且 θ 为滑动器 - 盘间隔在 ω 、以及施加的偏压的 AC 分量 $V_0 \sin \omega t$ 下的变化的相位差。

[0053] 此外,控制回路可基于确定为了消除滑动器体和硬盘之间的电位差、而应施加到滑动器体的最佳 DC 偏压的本发明的五个替代实施例的任一个,其中所述控制回路确定应在滑动器体和盘之间施加的最佳 V_{DC} 偏压。图 14 描述了示范控制系统 1400,用于根据本发明在滑动器体 1401 和硬盘 1402 之间施加最佳 DC 偏压。控制系统 1400 包括:传感器系统 1405,其使用与本发明相联系地描述的任意技术,来感应滑动器体 1401 对施加的 AC 偏压的电动力响应、及 / 或滑动器体 1401 和硬盘 1402 之间的干涉电平。传感器系统 1405 输出与感应出的滑动器体 1401 的电动力响应相对应的控制信号、及 / 或滑动器体 1401 和硬盘 1402 之间的干涉电平。偏压源 1406 响应于施加到滑动器体 1404 的控制信号而输出偏压。

[0054] 应当理解,尽管已经按照单滑动器体和单磁盘描述了本发明,仍可将本发明的技术单独或共同地应用到 HDD 的每个各自的滑动器 - 盘接口。也就是说,可分别地检测每个各自的滑动器 - 盘接口的最佳偏压。另一方面,可检测单个滑动器 - 盘接口的最佳偏压,并用于生成施加到每个各自的滑动器 - 盘接口的偏压。因此,可在控制回路中使用这里描述的用于确定应在滑动器体和硬盘之间施加的最佳 DC 偏压的本发明的任意技术,来控制施加的 DC 偏压。此外,也可将本发明的技术应用到磁光驱动器或光学驱动器,这些驱动器包含具有光圈 / 镜头以及旋转盘的滑动器。

[0055] 尽管已经按照将 AC/DC 偏压施加到滑动器体描述了本发明,但应当理解,本发明在将 AC 和 / 或 DC 偏压施加到盘而不是滑动器体时,同样工作得很好。此外,尽管已经按照从负值到正值改变 DC 偏压描述了本发明,但 DC 偏压的变化范围可为单极的,此情况中,可通过对检测出的与设计浮动高度的偏差进行线性外推,来确定最佳 DC 偏压,以找到 x 坐标轴的截距。

[0056] 尽管已经按照确定为了消除存在于滑动器体和盘之间的电位差、而应在滑动器体和盘之间施加的最佳偏压描述了本发明,但应当理解,可将本发明的开尔文探头方面用于:当滑动器 - 盘接口的条件或状态随着时间变化时,检测滑动器 - 盘接口的状况或状态。例如,可使用本发明的任意实施例来确定最佳偏压,并可将最佳偏压用作下述情况

的基准，其中例如将接下来检测的最佳偏压的变化用于确定在盘的不同区域中存有的润滑剂量。此外，由于接触电位对费米级的改变、以及对表面电位的改变敏感，可将本发明用于监测润滑剂退化或驱动器污染。

[0057] 尽管为了清楚理解的目的，已相当详细地描述了前述发明，但显然，可实现包含在所附权利要求的范围内的某些改变和修改。因此，将当前实施例考虑为演示性的，而不是限定性的，并且本发明不限于这里给出的细节，而可在所附权利要求的范围和同等物之内做出修改。

[0058] 相关申请的交叉引用

[0059] 本发明涉及共同未决和共同转让的专利申请系列号(律师案号 HSIJ9200300149US1)，题目为“用于主动控制磁记录盘驱动器的头/盘接口的电位的方法”，其在此同时提交，并且通过引用合并与此。

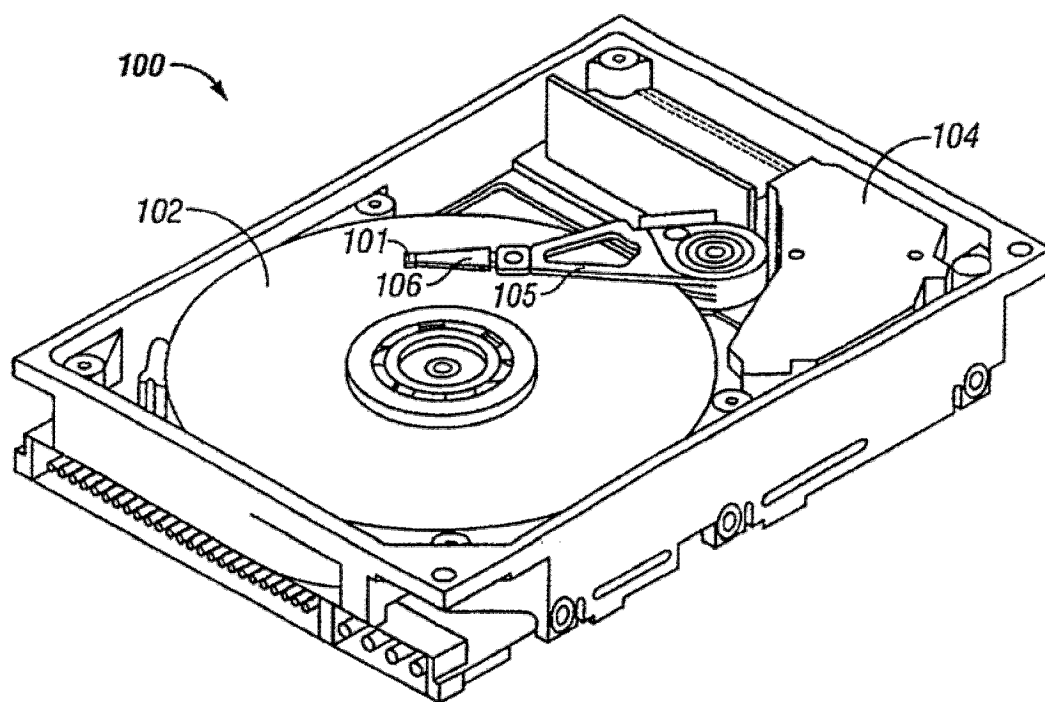


图 1

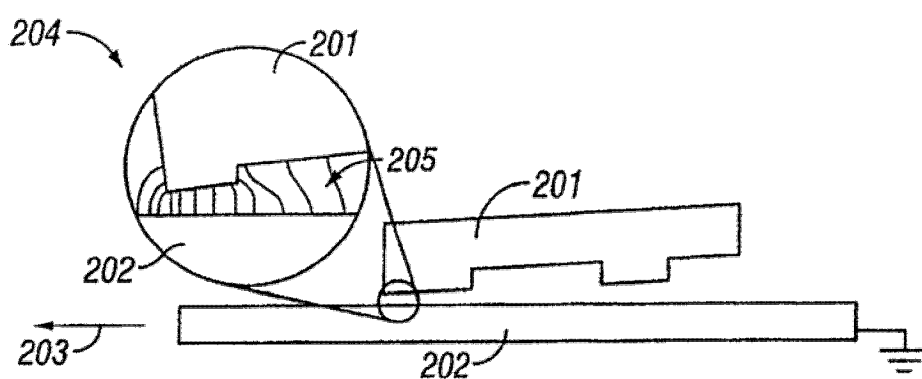


图 2

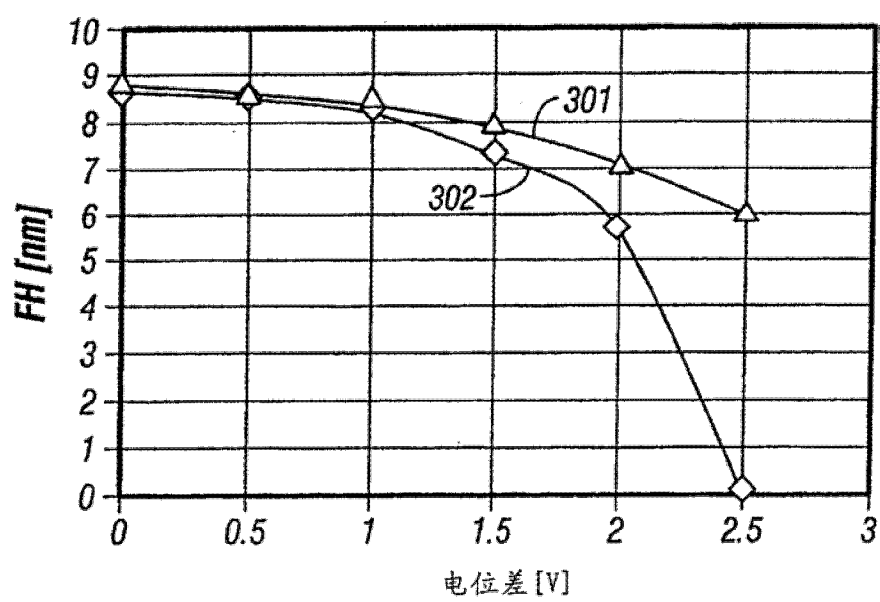


图 3

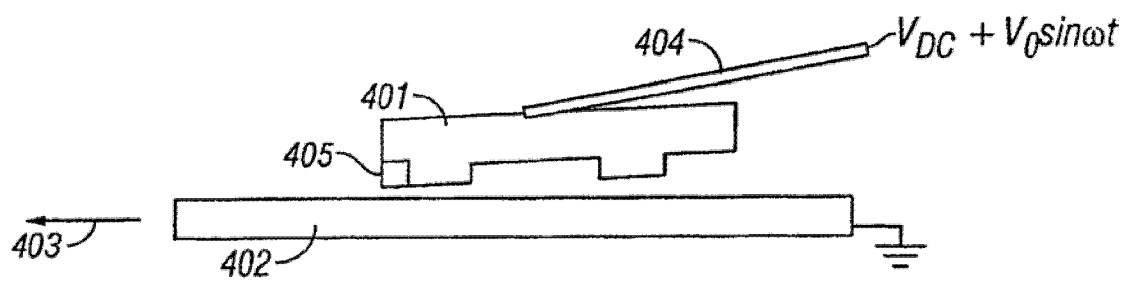


图 4

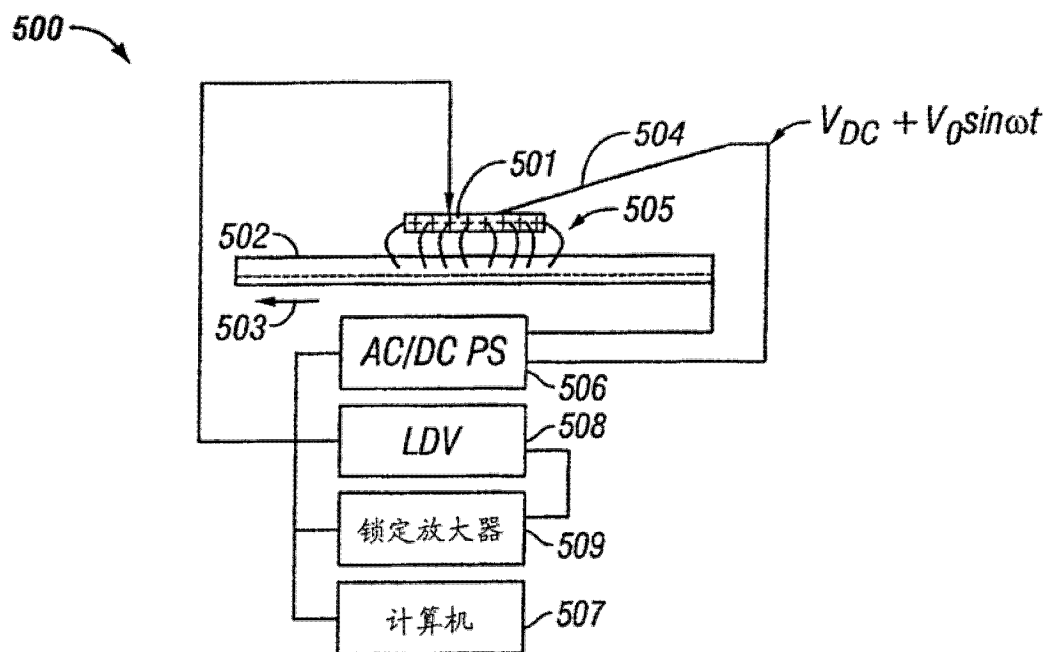


图 5

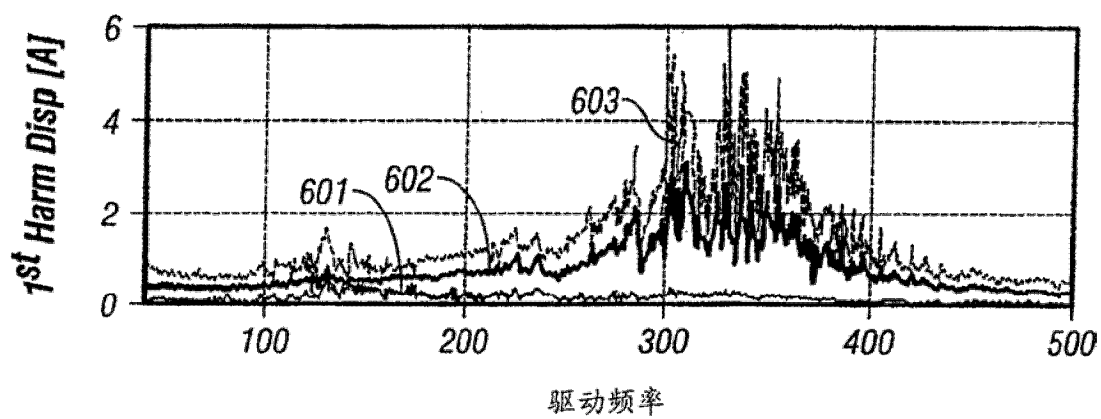


图 6A

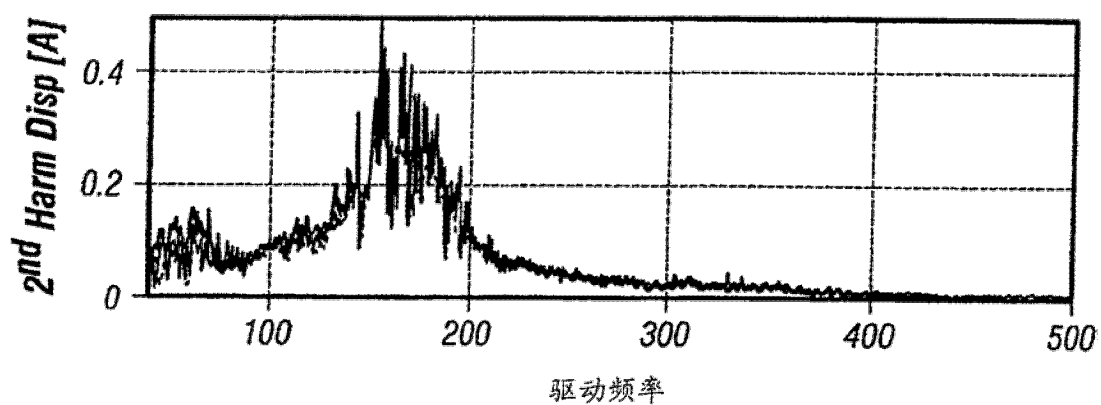


图 6B

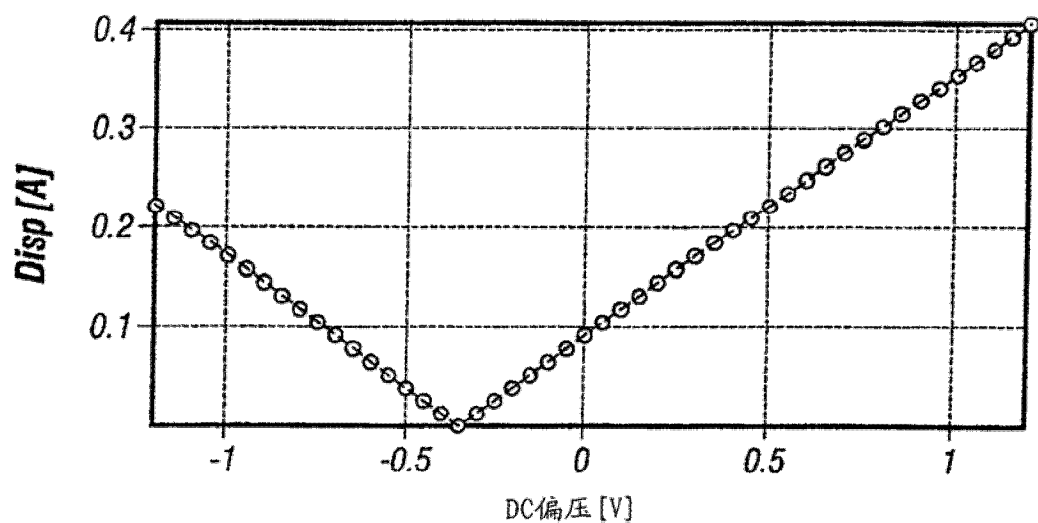


图 7A

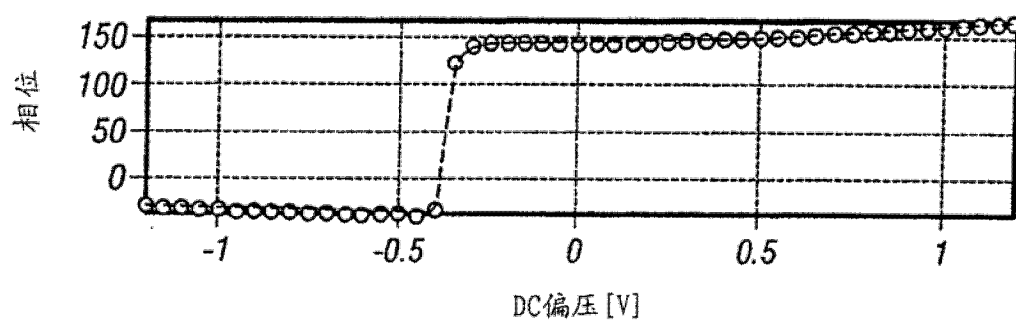


图 7B

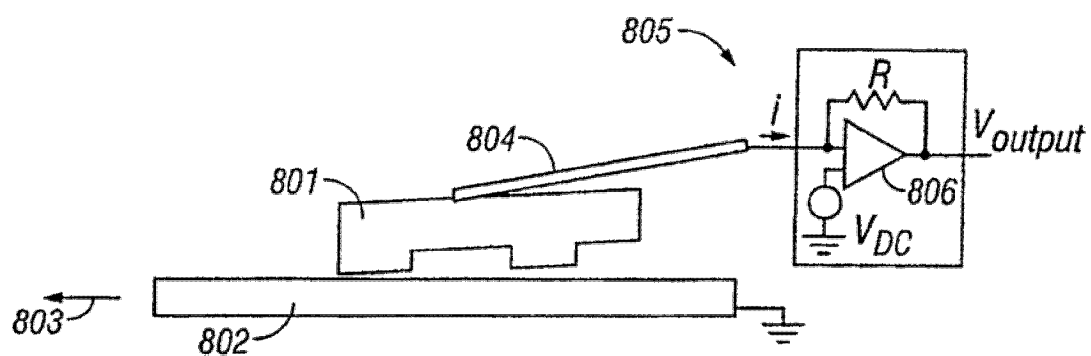


图 8

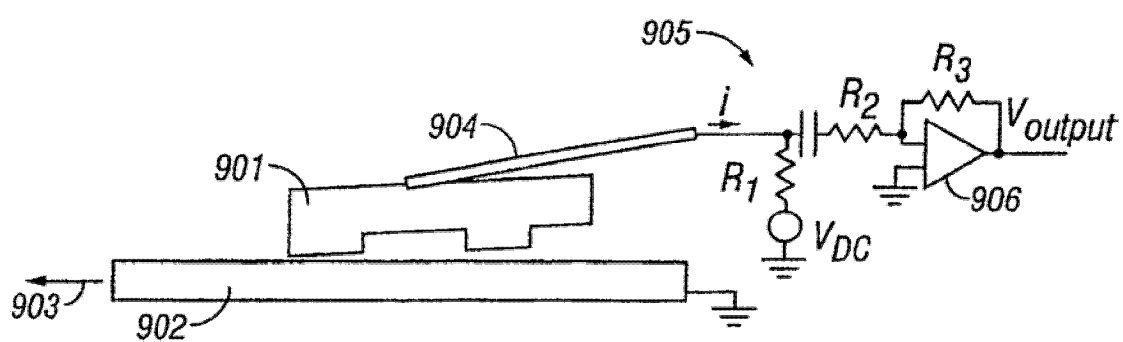


图 9

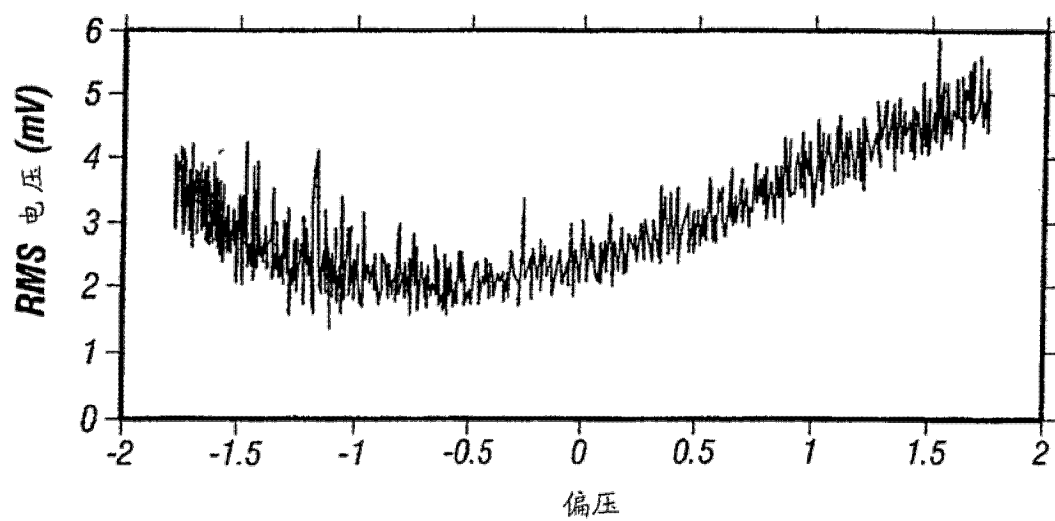


图 10

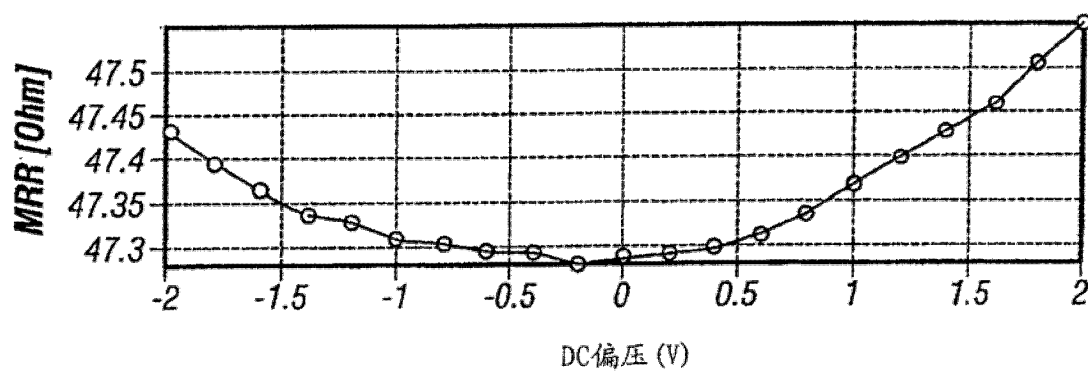


图 11

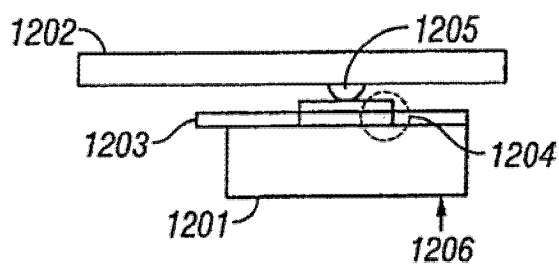


图 12

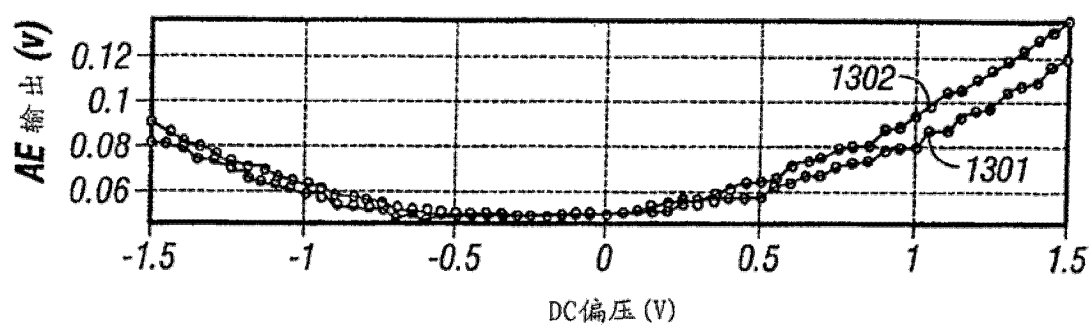


图 13

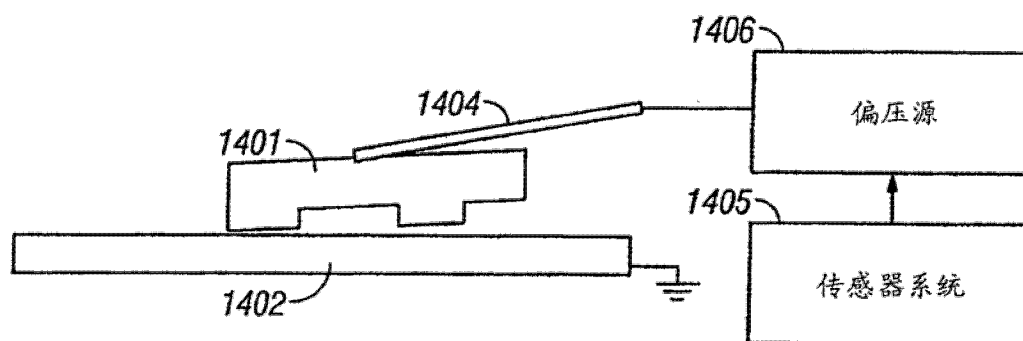


图 14