



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102707246 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201110074459. 2

(22) 申请日 2011. 03. 28

(73) 专利权人 新科实业有限公司

地址 中国香港新界沙田香港科学园科技大道东六号新科中心

(72) 发明人 莫肇雯 林浩基 梁卓荣 丁菊仁 倪荣光 关韵妍 雷卓文 梁钊明

(74) 专利代理机构 广州三环专利代理有限公司 44202

代理人 郝传鑫

(51) Int. Cl.

G01R 33/09(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101241706 A, 2008. 08. 13, 全文.

CN 1627369 A, 2005. 06. 15, 全文.

CN 1584623 A, 2005. 02. 23, 全文.

CN 1513119 A, 2004. 07. 14, 全文.

JP t 特开 2010-145241 A, 2010. 07. 01, 全文.

US 2007/0035886 A1, 2007. 02. 15, 全文.

JP 特开 2005-339627 A, 2005. 12. 08, 全文. 蔡建旺. 磁电子学器件应用原理. 《物理学进展》. 2006, 第 26 卷 (第 2 期), 第 180-227 页.

审查员 黄金霞

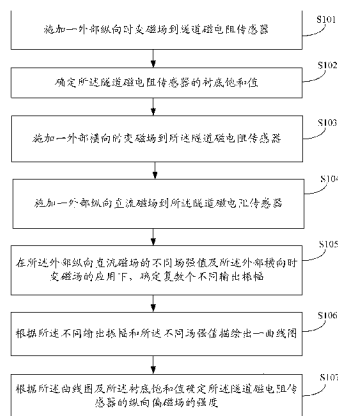
权利要求书1页 说明书5页 附图13页

(54) 发明名称

测量隧道磁电阻传感器中纵向偏磁场的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种测量磁头的隧道磁电阻传感器中的纵向偏磁场的方法,其包括以下步骤:施加一外部纵向时变磁场到隧道磁电阻传感器,该外部纵向时变磁场的方向与纵向偏磁场的方向相反;在外部纵向时变磁场的应用下,确定隧道磁电阻传感器的衬底饱和值;施加一外部横向时变磁场到隧道磁电阻传感器,该外部横向时变磁场的方向与纵向偏磁场的方向相垂直;施加一外部纵向直流磁场到隧道磁电阻传感器,该外部纵向直流磁场的方向与纵向偏磁场的方向相反;在外部纵向直流磁场的不同场强值及外部横向时变磁场的应用下,确定复数个不同输出振幅;根据不同输出振幅和不同场强值描绘出一曲线图;及根据所述曲线图及所述衬底饱和值确定纵向偏磁场的强度。



1. 一种测量磁头的隧道磁电阻传感器中的纵向偏磁场的方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

(a) 施加一外部纵向时变磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部纵向时变磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相反;

(b) 在所述外部纵向时变磁场的应用下,确定所述隧道磁电阻传感器的衬底饱和值;

(c) 施加一外部横向时变磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部横向时变磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相垂直;

(d) 施加一外部纵向直流磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部纵向直流磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相反;

(e) 在所述外部纵向直流磁场的不同场强值及所述外部横向时变磁场的应用下,确定复数个不同输出振幅;

(f) 根据所述不同输出振幅和所述不同场强值描绘出一曲线图;及

(g) 根据所述曲线图及所述衬底饱和值确定所述纵向偏磁场的强度。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤 (b) 包括以下步骤:

(b1) 在所述外部纵向时变磁场的应用下,测量所述隧道磁电阻传感器的静态响应以形成一响应曲线;及

(b2) 根据所述响应曲线确定所述隧道磁电阻传感器的衬底饱和值。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤 (e) 包括以下步骤:

(e1) 当所述外部纵向直流磁场的场强值为零时,在所述外部横向时变磁场的应用下,确定一初始输出振幅;

(e2) 增加一增量以改变所述外部纵向直流磁场的场强值;

(e3) 在所述外部纵向直流磁场的改变后的场强值和所述外部横向时变磁场的应用下,确定改变后的输出振幅;及

(e4) 重复步骤 (e2) 至步骤 (e3) 直到改变后的场强值大于衬底饱和值且改变后的输出振幅的值小于所述初始输出振幅的值。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤 (g) 包括以下步骤:

(g1) 确定与所述曲线图中最大输出振幅相对应的最终场强值;及

(g2) 通过将所述最终场强值减去所述衬底饱和值来确定所述纵向偏磁场的强度。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述外部纵向时变磁场、外部横向时变磁场及外部纵向直流磁场均是由一矢量线圈组合产生的。

## 测量隧道磁电阻传感器中纵向偏磁场的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种测试磁头性能的方法,尤其涉及一种测量磁头的隧道磁电阻传感器中的纵向偏磁场的方法。

### 背景技术

[0002] 包含多个旋转磁盘的硬盘驱动器被普遍用来将数据存储在其磁盘表面的磁性媒介上,而包含读传感器的可移动磁头用作从磁盘表面的磁轨上读取数据。

[0003] 当前,磁阻 (magnetoresistive, MR) 读传感器,一般称为 MR 传感器,因其相较薄膜诱导型磁头具有能够以更大磁轨和线性密度从磁盘表面上读取数据的能力,而成为主流的读传感器。目前,不同类型的 MR 传感器已接二连三被磁盘驱动器开发商有效投入使用。其中一种传统的 MR 传感器为各向异性磁阻 (anisotropic magnetoresistive, AMR),其会使磁化方向与流经 MR 元件的感应偏流方向之间的夹角发生改变,继而使 MR 元件的电阻和感应偏流或偏压发生相应的变化。另一种典型类型为巨磁电阻 (giant magnetoresistive, GMR) 传感器,其表现为 GMR 效应。GMR 效应是一种磁阻比率 (magnetoresistive ratio, MRR) 在外部磁场下发生变化的现象。GMR 传感器由两铁磁层和层压于该两铁磁层之间的非铁磁层组成。该非铁磁层的电阻会随两铁磁层的磁矩、载流电子及自旋相关散射而变化。再一种 MR 传感器类型为隧道磁电阻 (tunnel magnetoresistive, TMR) 传感器,其包括产生隧道磁阻效应的磁隧道结 (magnetic tunnel junction, MTJ)。由于其磁阻比率的变化比 GMR 显著得多,故此 TMR 传感器能够取代 AMR 和 GMR 而成为当前的主流技术。

[0004] 如图 1 所示,所述 TMR 传感器包括两衬底 120,两硬磁铁 130 及夹设于所述衬底 120 和所述硬磁铁 130 之间的磁隧道结 110。参照图 2,该磁隧道结 110 包括第一铁磁层 111、第二铁磁层 112 及反铁磁层 113,该反铁磁层 113 与第二铁磁层 112 在物理上相接触以在其交界面上形成交换耦合而提供交换偏磁场。所述第二铁磁层 112 中的磁化方向受所述交换耦合的约束和控制,因此,所述第二铁磁层 112 也称为“扎层”。通常,所述第一铁磁层 111 的磁化方向受控于所述硬磁铁 130 所产生的纵向偏磁场。而当施加到 TMR 传感器的外部磁场强度足以抵消该纵向偏磁场,则第一铁磁层 111 的磁化方向可响应外部施加的磁场而自由旋转,因此,该第一铁磁层 111 也被称为“自由层”。自由层 111 的磁化方向可在平行和反平行于扎层 112 的磁化方向之间变化,而因此隧道磁电阻效应的特性可以被获取。

[0005] 在 TMR 传感器中,为了压制由磁畴界壁的波动或转移产生的非连续磁化而引起的巴克豪森噪声,用于控制磁畴的偏磁场 (纵向偏磁场) 朝着纵向方向 (磁迹宽度的方向) 被施加。如果该施加到自由层的纵向偏磁场太小,巴克豪森噪声将会容易产生。而如果该纵向偏磁场太大,则自由层的磁化方向的变化将变得很困难,导致 TMR 传感器的敏感度降低。因此,需要在 TMR 传感器中施加一个合适的纵向偏磁场。为了实现该目的,得出 TMR 传感器中的纵向偏磁场的强度是很重要的。

[0006] 目前,有一种普遍使用的测量 TMR 传感器中纵向偏磁场的方法。该方法包括施加偏电流或外部加热源到 TMR 传感器以解除扎层和 AFM 层之间的交换耦合的步骤。而由于 TMR

传感器中的交换耦合较强,施加的偏电流或加热源需要较大强度。然而,众所周知,较高的偏电流或加热源将会带来较高的温度上升,而在高温下,纵向偏磁场的强度将会变得较低而导致纵向偏磁场不能被准确测量出来。此外,高温还会带来高温噪声,从而损害 TMR 传感器的性能。

[0007] 因此,急需提供一种改良的方法以准确测量磁头的 TMR 传感器中的纵向偏磁场。

## 发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供一种测量隧道磁电阻传感器中的纵向偏磁场的方法,以确定何种隧道磁电阻传感器的设计由于具有合适的偏磁场而可提供更为稳定及可靠的性能。

[0009] 为了达到上述目的,本发明提供一种测量隧道磁电阻传感器中的纵向偏磁场的方法,该方法包括以下步骤:(a) 施加一外部纵向时变磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部纵向时变磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相反;(b) 在所述外部纵向时变磁场的应用下,确定所述隧道磁电阻传感器的衬底饱和值;(c) 施加一外部横向时变磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部横向时变磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相垂直;(d) 施加一外部纵向直流磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部纵向直流磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相反;(e) 在所述外部纵向直流磁场的不同场强值及所述外部横向时变磁场的应用下,确定复数个不同输出振幅;(e) 根据所述不同输出振幅和所述不同场强值描绘出一曲线图;及(f) 根据所述曲线图及所述衬底饱和值确定所述纵向偏磁场的强度。

[0010] 较佳地,所述步骤(b)包括以下步骤:(b1) 在所述外部纵向时变磁场的应用下,测量所述隧道磁电阻传感器的静态响应以形成一响应曲线;及(b2) 根据所述响应曲线确定所述隧道磁电阻传感器的衬底饱和值。

[0011] 较佳地,所述步骤(e)包括以下步骤:(e1) 当所述外部纵向直流磁场的场强值为零时,在所述外部横向时变磁场的应用下,确定一初始输出振幅;(e2) 增加一增量以改变所述外部纵向直流磁场的场强值;(e3) 在所述外部纵向直流磁场的改变后的场强值和所述外部横向时变磁场的应用下,确定改变后的输出振幅;及(e4) 重复步骤(e2)至步骤(e3)直到改变后的场强值大于衬底饱和值且改变后的输出振幅的值小于所述初始输出振幅的值。

[0012] 较佳地,所述步骤(g)包括以下步骤:(g1) 确定与所述曲线图中最大输出振幅相对应的最终场强值;及(g2) 通过将所述最终场强值减去所述衬底饱和值来确定所述纵向偏磁场的强度。

[0013] 较佳地,所述外部纵向时变磁场、外部横向时变磁场及外部纵向直流磁场均是由一矢量线圈组合产生的。

[0014] 与现有技术相比,本发明提供了准确测量隧道磁电阻传感器中的纵向偏磁场的方法,该方法提供了外部磁场代替高偏电流或加热源来解除隧道磁电阻传感器中的交换耦合,避免了隧道磁电阻传感器产生较大升温。从而隧道磁电阻传感器中的纵向偏磁场可以被准确测量以确定何种隧道磁电阻传感器的设计可提供更为稳定及可靠的性能。

[0015] 通过以下的描述并结合附图,本发明的技术内容、构造特征、所达目的及效果将变得更加清晰,这些附图用于解释本发明的实施例。

## 附图说明

- [0016] 图 1 为传统隧道磁电阻传感器的结构示意图。
- [0017] 图 2 为图 1 所示隧道磁电阻传感器中的磁隧道结的结构示意图。
- [0018] 图 3 为一流程图,其展示了根据本发明一实施例测量图 1 所示隧道磁电阻传感器中纵向偏磁场的方法。
- [0019] 图 4 为另一流程图,其展示了根据本发明另一实施例测量图 1 所示隧道磁电阻传感器中纵向偏磁场的方法。
- [0020] 图 5a 为展示了一矢量线圈组合产生外部纵向时变磁场或外部纵向直流磁场的示意图。
- [0021] 图 5b 为一示意图,其展示了如何形成外部纵向时变磁场或外部纵向直流磁场。
- [0022] 图 6a 为展示了一矢量线圈组合产生外部横向时变磁场的示意图。
- [0023] 图 6b 为一示意图,其展示了如何形成外部横向时变磁场。
- [0024] 图 7 为一响应曲线,其展示了如何确定隧道磁电阻传感器的衬底饱和状态。
- [0025] 图 8 展示了可确定一初始输出振幅的初始准静态测试曲线。
- [0026] 图 9 至图 21 展示了在不同外部纵向直流磁场场强值的条件下所形成的不同准静态测试曲线。
- [0027] 图 22 为展示了如何确定纵向偏磁场的强度的曲线图。

## 具体实施方式

[0028] 以下将结合附图描述本发明的各个实施例,其中,各个附图中相同的标记表示相同的元件。如上所述,本发明提供了一种测量隧道磁电阻传感器中的纵向偏磁场的方法,该方法包括以下步骤:(a) 施加一外部纵向时变磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部纵向时变磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相反;(b) 在所述外部纵向时变磁场的应用下,确定所述隧道磁电阻传感器的衬底饱和值;(c) 施加一外部横向时变磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部横向时变磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相垂直;(d) 施加一外部纵向直流磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部纵向直流磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相反;(e) 在所述外部纵向直流磁场的不同场强值及所述外部横向时变磁场的应用下,确定复数个不同输出振幅;(e) 根据所述不同输出振幅和所述不同场强值描绘出一曲线图;及(f) 根据所述曲线图及所述衬底饱和值确定所述纵向偏磁场的强度。本发明的该方法可以准确地测量隧道磁电阻传感器中的纵向偏磁场,以确定何种隧道磁电阻传感器的设计由于具有合适的偏磁场而可提供更为稳定及可靠的性能。

[0029] 图 3 为展示了根据本发明一实施例测量图 1 所示隧道磁电阻传感器中纵向偏磁场的方法的流程图。参照图 3,根据本发明的一实施例,该测量隧道磁电阻传感器中纵向偏磁场的方法包括以下步骤:施加一外部纵向时变磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部纵向时变磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相反(步骤 S101);在所述外部纵向时变磁场的应用下,确定所述隧道磁电阻传感器的衬底饱和值(步骤 S102);施加一外部横向时变磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部横向时变磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相垂直(步骤 S103);施加一外部纵向直流磁场到所述隧道磁电阻传感器,所述外部纵向直流磁场的方向与所述纵向偏磁场的方向相反(步骤 S104);在所述外部纵向直流磁场的不同场

强值及所述外部横向时变磁场的应用下,确定复数个不同输出振幅(步骤 S105);根据所述不同输出振幅和所述不同场强值描绘出一曲线图(步骤 S106);及根据所述曲线图及所述衬底饱和值确定所述纵向偏磁场的强度(步骤 S107)。

[0030] 如图 4 所示,根据本发明的一较佳实施例,测量隧道磁电阻传感器中纵向偏磁场的方法包括以下步骤:

[0031] 首先,施加一外部纵向时变磁场到所述隧道磁电阻传感器(步骤 S201)。其中,如图 2 和图 5b 所示,所述外部纵向时变磁场 E 的方向与所述隧道磁电阻的自由层中的纵向偏磁场的方向相反。接着,在所述外部纵向时变磁场的应用下,测量所述隧道磁电阻传感器的静态响应以形成一响应曲线(步骤 S202)且根据所述响应曲线确定所述隧道磁电阻传感器的衬底饱和值(步骤 S203)。众所周知,当对隧道磁电阻传感器施加外部磁场时,隧道磁电阻传感器的衬底会吸收所述外部磁场。变量“衬底饱和”的引入是为了描述所述衬底的特性,当所述衬底达到衬底饱和状态时,该衬底将不再吸收外部磁场,而此时,响应曲线上产生了一个突变的响应。

[0032] 接着,施加一外部横向时变磁场及一外部纵向直流磁场到所述隧道磁电阻传感器(步骤 S204)。如图 2、5b 及 6b 所示,所述外部横向时变磁场 C 的方向与所述纵向偏磁场的方向相垂直,而所述外部纵向直流磁场 E' 的方向与所述外部纵向时变磁场 E 的方向相同,均与所述纵向偏磁场的方向相反。再接着,当所述外部纵向直流磁场的场强值为零时,且在所述外部横向时变磁场的应用下,确定一初始输出振幅(步骤 S205),然后,可以通过以下步骤确定复数个不同输出振幅:增加一增量以改变所述外部纵向直流磁场的场强值(步骤 S206)(其中,所述增量是影响测量精度的一个变量,在本实施例中,所述增量可为 1000e 或 2000e);在所述外部纵向直流磁场的改变后的场强值和所述外部横向时变磁场的应用下,确定改变后的输出振幅(步骤 S207);及重复步骤 S2056 至步骤 S207 直到改变后的场强值大于衬底饱和值且改变后的输出振幅的值小于所述初始输出振幅的值(步骤 S208)。在执行了上述步骤之后,根据所述不同输出振幅和所述不同场强值描绘出一曲线图(步骤 S209)。

[0033] 根据本发明的方法,所述纵向直流磁场用于改变隧道磁电阻传感器的自由层的自由程度。当所述纵向直流磁场的强度足以完全抵消纵向偏磁场时,自由层达到最大自由状态。而当自由层达到最自由状态时,可以获取磁头的最大输出振幅。此外,对于隧道磁电阻传感器,其衬底在达到饱和状态前将会吸收外部磁场。因此,基于上述特性,纵向偏磁场的强度可以通过执行以下步骤来确定:确定与所述曲线图中最大输出振幅相对应的最终场强值(步骤 S210);及通过将所述最终场强值减去所述衬底饱和值来确定所述纵向偏磁场的强度(步骤 S211)。

[0034] 本实施例中,所述外部纵向时变磁场、外部横向时变磁场及外部纵向直流磁场均由图 5a 和 6a 所示的矢量线圈组合 200 产生的。参照图 5a 至 6b,所述矢量线圈组合包括四个矢量线圈 210a、210b、220a 及 220b。其中,所述线圈 210a 和 210b 构成第一对矢量线圈,类似地,所述线圈 220a 和 220b 构成第二对矢量线圈。第一对矢量线圈产生磁场 A 和与磁场 A 方向相反的磁场 D,第二对矢量线圈产生与磁场 A 及磁场 D 的方向相垂直的磁场 B。在本实施例中,所述外部横向时变磁场 C 由所述磁场 A 和磁场 B 合成,而根据毕达哥拉斯定理,外部横向时变磁场的值可以由以下公式得出: $C = (A^2 + B^2)^{1/2}$ ;同样地,所述外部纵向时变磁

场 E 及外部纵向直流磁场 E' 可以由所述磁场 B 和磁场 D 合成,且根据毕达哥拉斯定理,其磁场强度值分别可由以下公式得出: $E = (B^2 + D^2)^{1/2}$  和  $E' = (B^2 + D^2)^{1/2}$ 。

[0035] 为了更为详细地说明本发明的测量方法,提供了两个具有隧道磁电阻传感器的磁头使用该方法进行测试,其中一个称为磁头 U00433JH13,另一个称为磁头 U00436JH13。根据本发明的较佳实施例,该两磁头的测量过程如下所述:

[0036] 对于磁头 U00433JH13,如图 7 所示,在施加了外部纵向时变磁场到该磁头的隧道磁电阻传感器后,通过测量隧道磁电阻传感器的准静态响应而形成了响应曲线。由于隧道磁电阻传感器的衬底是在响应曲线出现突变响应时达到饱和状态,根据图 7 所示的响应曲线,可以很容易地得出所述衬底饱和值为 2360e。

[0037] 参照图 8,其展示了当外部纵向直流磁场的场强值为 0 时的初始准静态测试 (quasi static testing, QST) 曲线。基于该曲线,可以得到初始输出振幅为 9.73mV。从而,可以确定关于场强值和输出振幅的第一组数据 (00e, 9.37mV)。

[0038] 如图 9 所示,外部纵向直流磁场的场强值增加到 2000e,在该条件下,输出振幅变为 8.17mV,从而可获得第二组数据 (2000e, 8.17mV)。由于场强值 2000e 小于 2360e,步骤 S206 和 S207 继续被执行以形成另一 QST 曲线 (如图 10 所示)。根据图 10,可以得知当场强值增加到 4000e 时,输出振幅变为 10.29mV,则可以得到另一组数据 (4000e, 10.29mV)。此时,虽然场强值 4000e 大于衬底饱和值 2360e,但是改变后的输出振幅“10.29mV”却不小于原始输出振幅“9.37mV”,因此,步骤 S206 和 S207 仍需被继续执行以获取其它输出振幅。

[0039] 图 11 至图 21 展示了重复步骤 S206 和步骤 207 所获得的其他 QST 曲线。基于此,可以获取关于场强值和输出振幅的一系列数据。例如,当直流磁场的场强值为 6000e 时,输出振幅的值增加到 12.21mV,而当场强值变为 11000e 时,输出振幅达到 29.29mV,而当场强值为 12000e 时,输出振幅却减小到 28.73mV。最后,如图 16 所示,当场强值增加到 20000e 时,对应的输出振幅减小到 8.17mV,其小于初始输出振幅,其意味着重复步骤 S206 和 S207 所获取的数据已足以描绘出可确定纵向偏磁场的强度的曲线图。

[0040] 基于上述测试结果,磁头 U00433JH13 的曲线图可以被描绘出来以确定最终的场强值,如图 22 所示。从该曲线图可以得到与最大输出振幅为 29.29mV,而与该最大输出振幅相对应的最终场强值为 11000e。而由于衬底饱和值为 2360e,可以很容易地通过将 11000e 减去 2360e 来确定纵向偏磁场的强度,由此可得,该纵向偏磁场的强度为 8640e。类似地,对于磁头 U00436JH13,可以得出多个类似的 QST 曲线 (图未示) 且基于这些 QST 曲线,可以得出如图 22 所示的关于磁头 U00436JH13 的曲线图以确定其内的纵向偏磁场的强度。从而,通过比较上述两个磁头的纵向偏磁场可以确定哪一个的设计可以提供较为稳定且可靠的性能。

[0041] 以上结合最佳实施例对本发明进行了描述,但本发明并不局限于以上揭示的实施例,而应当涵盖各种根据本发明的本质进行的修改、等效组合。

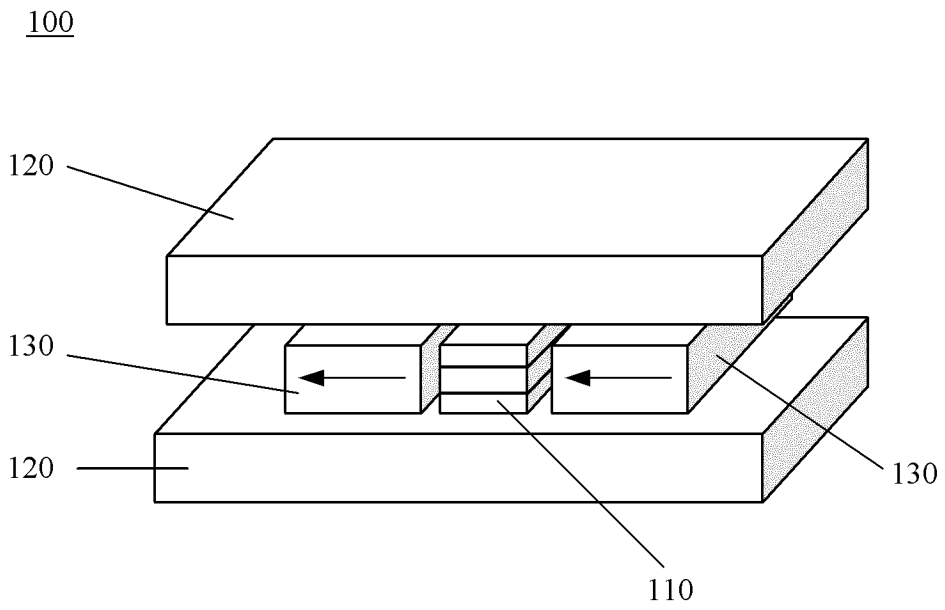


图 1

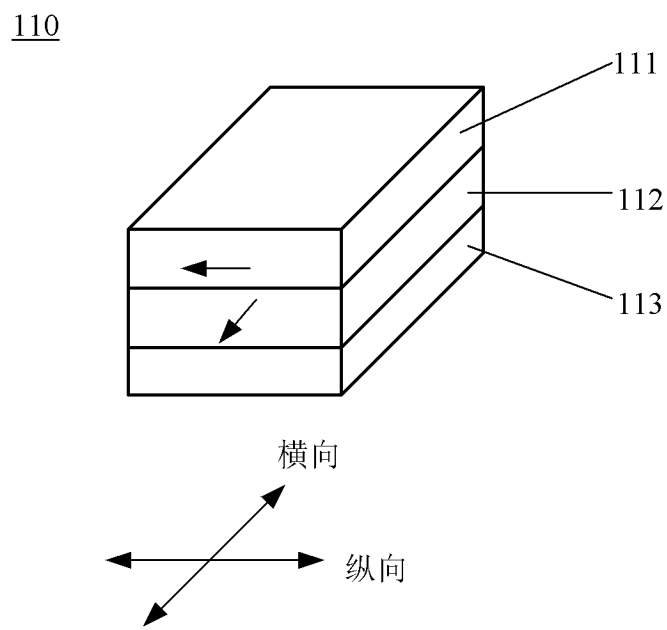


图 2

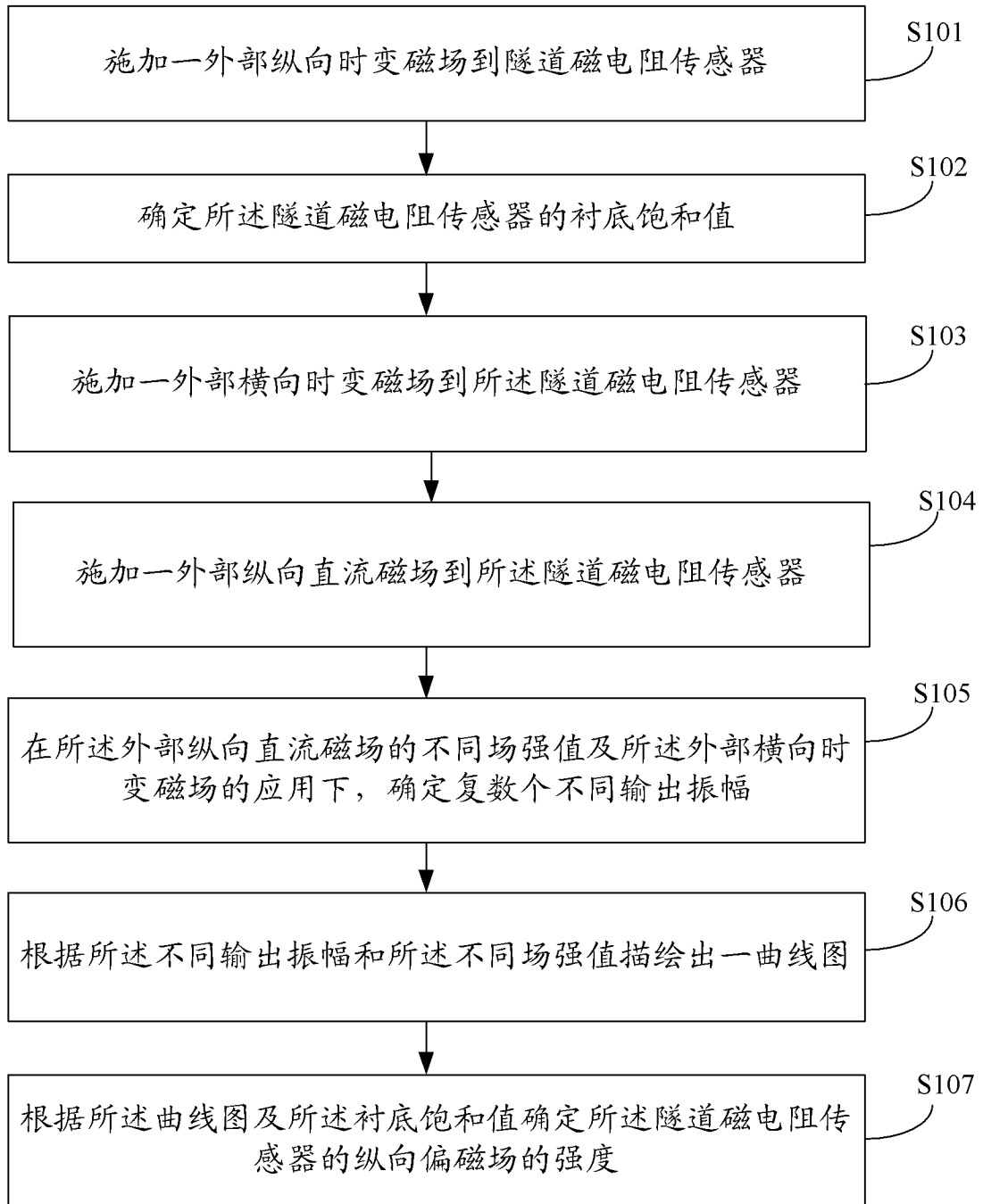


图 3

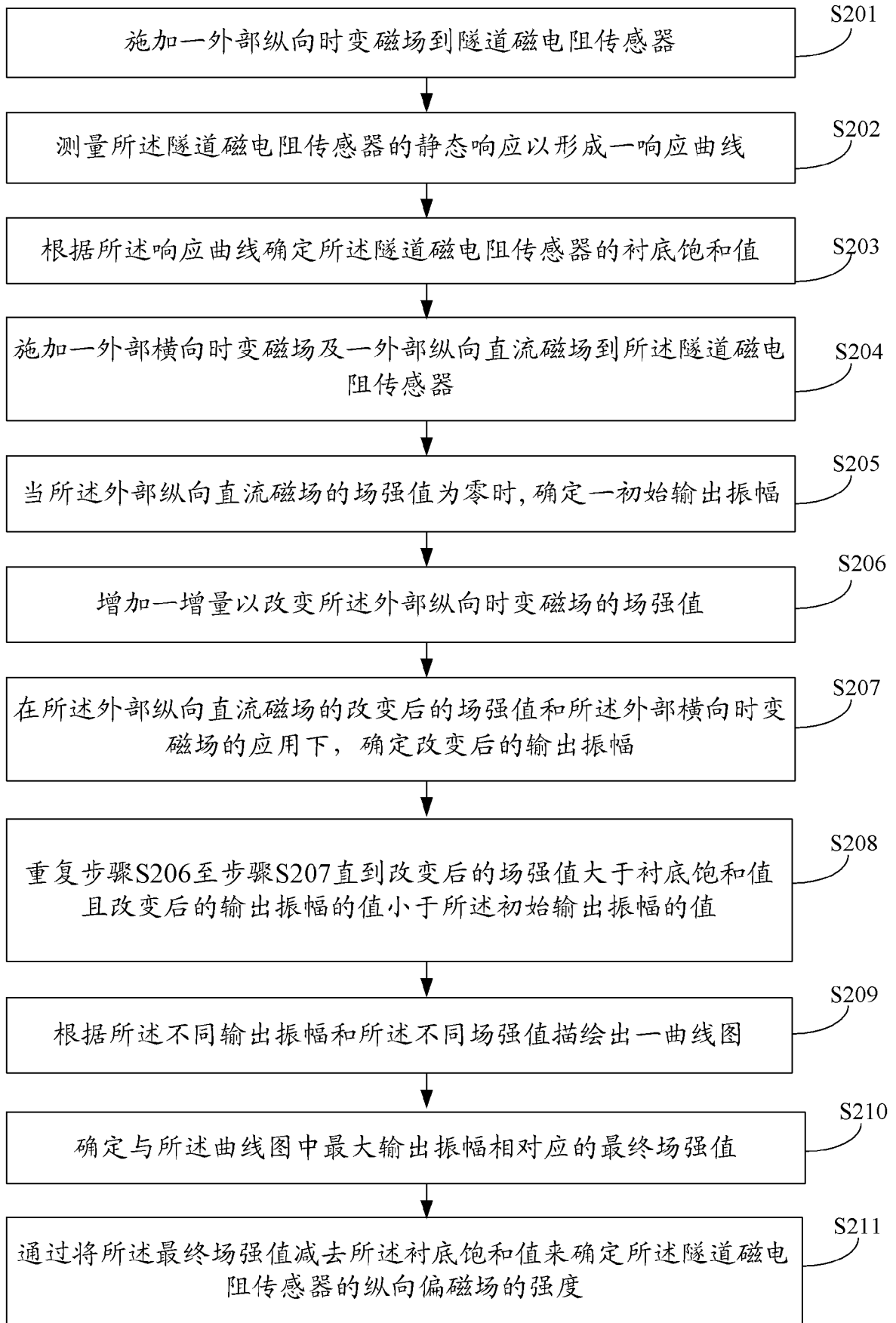


图 4

200

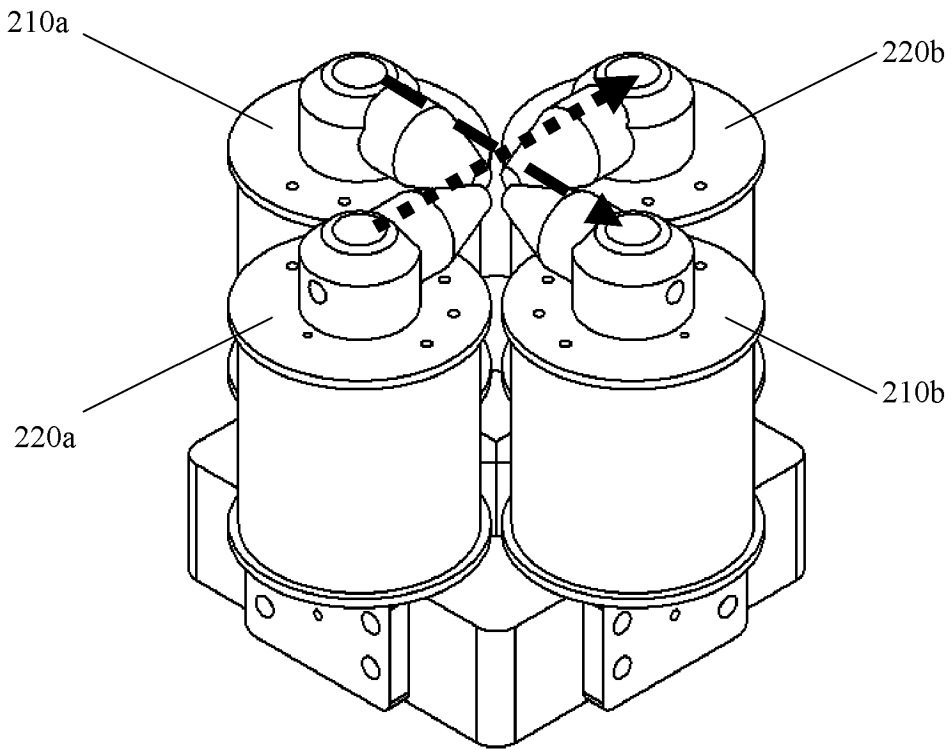


图 5a

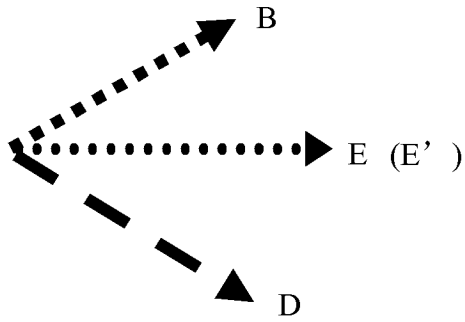


图 5b

200

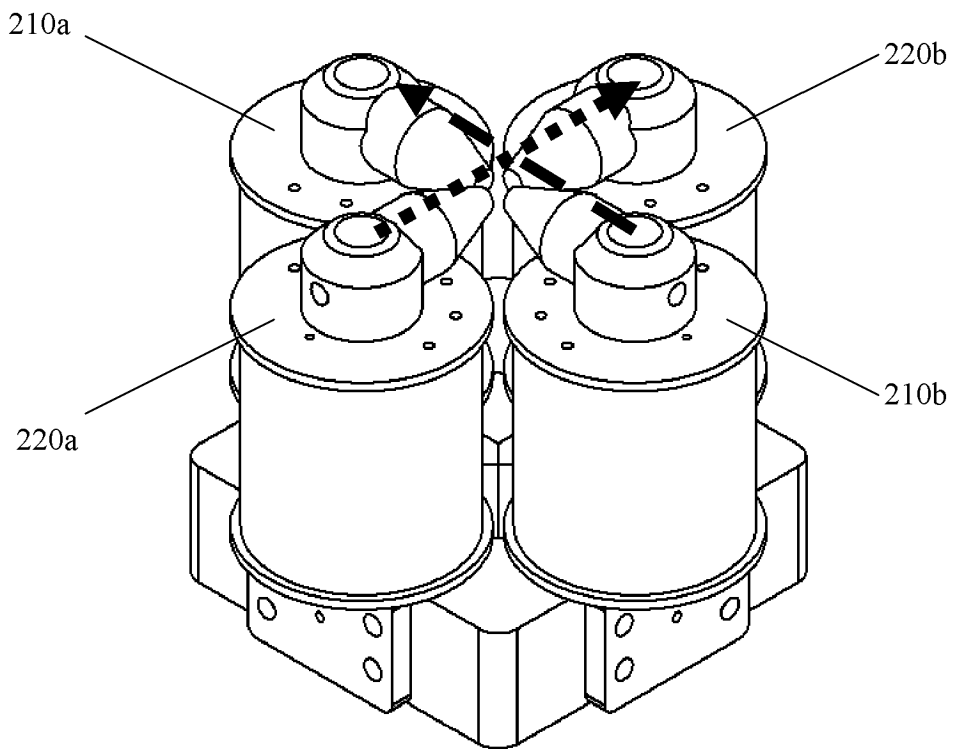


图 6a

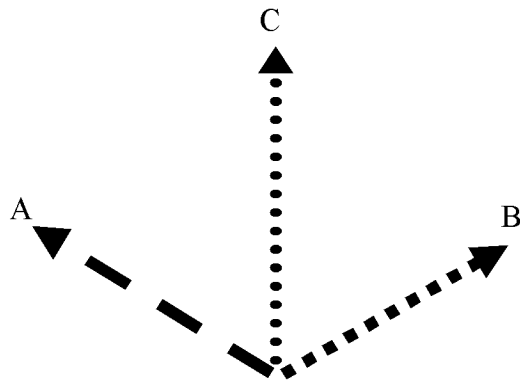


图 6b

确定衬底饱和状态

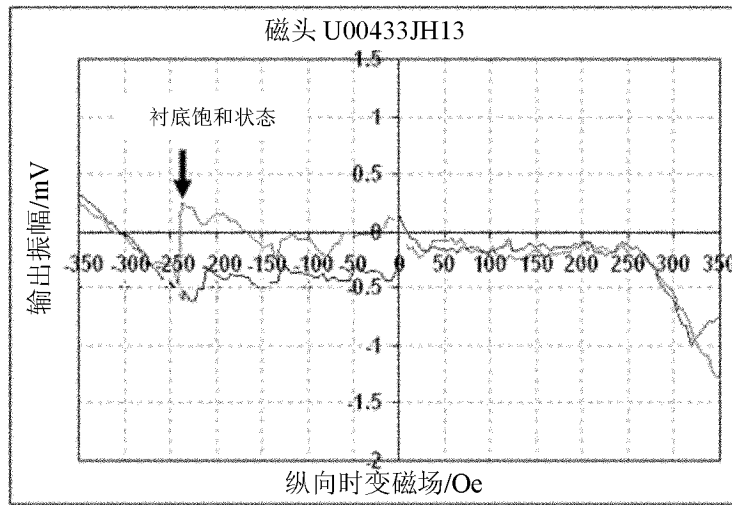


图 7

初始 QST 曲线/直流磁场强度=0 Oe

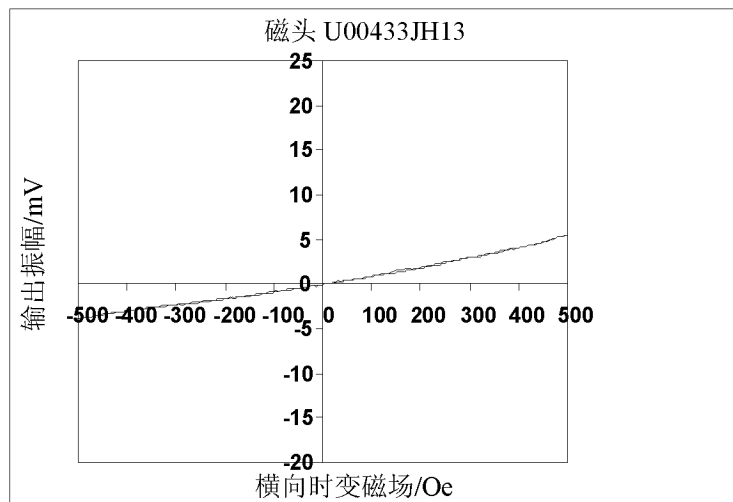


图 8

QST曲线/直流磁场强度=200 Oe

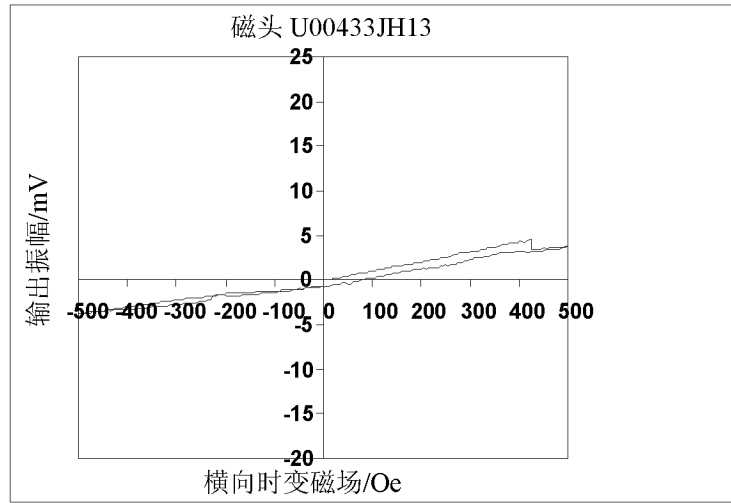


图 9

QST曲线/直流磁场强度=400 Oe

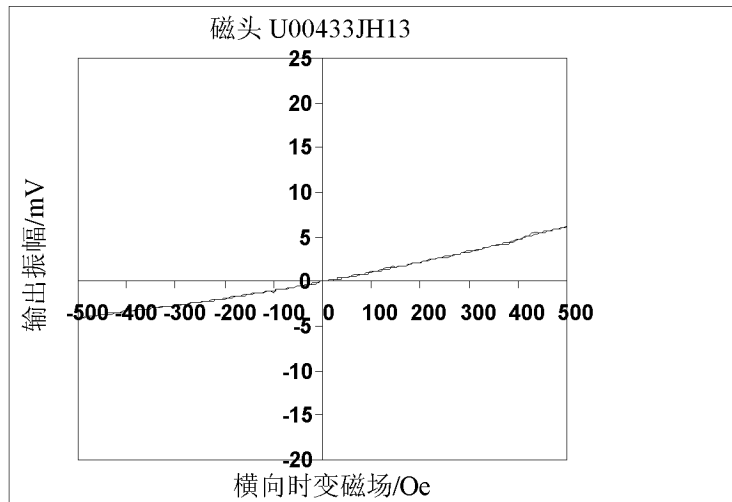


图 10

QST曲线/直流磁场强度=600 Oe

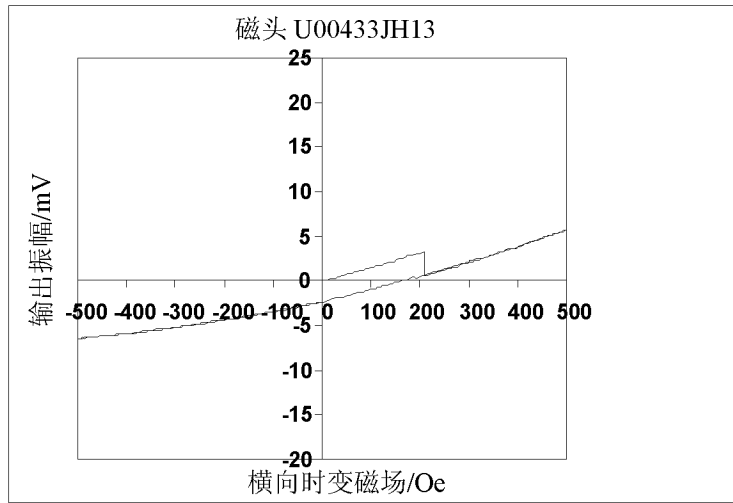


图 11

QST曲线/直流磁场强度=800 Oe

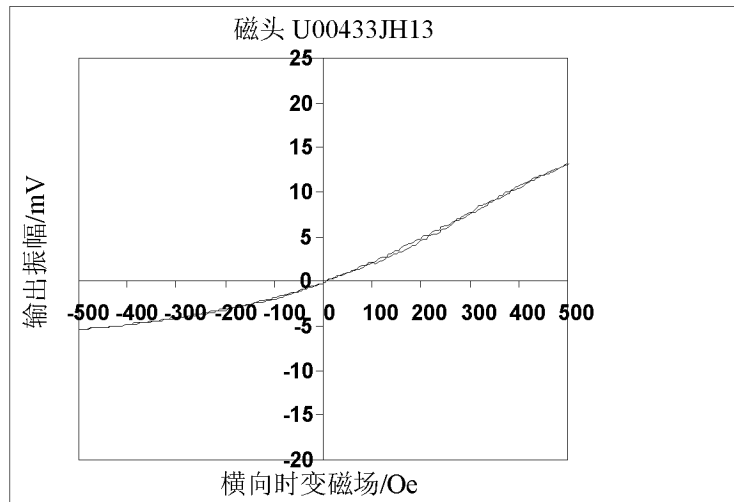


图 12

QST曲线/直流磁场强度=1000 Oe

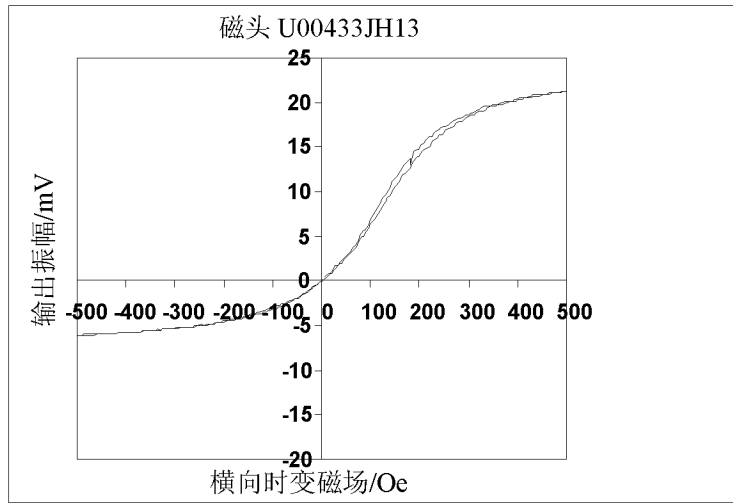


图 13

QST曲线/直流磁场强度=1100 Oe

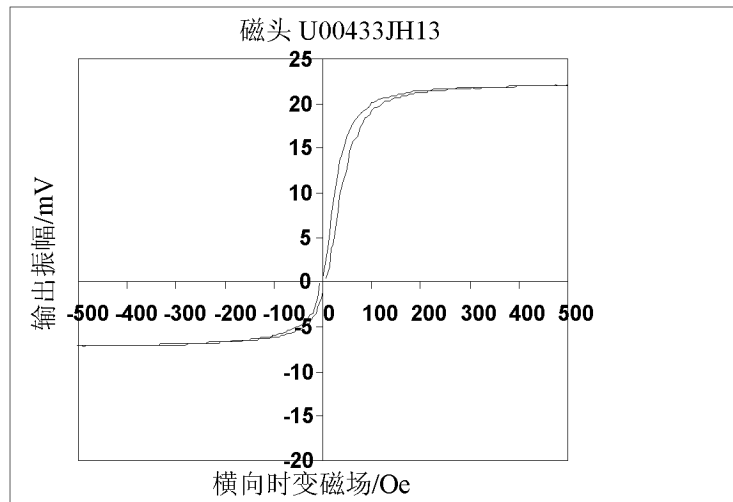


图 14

QST曲线/直流磁场强度=1200 Oe

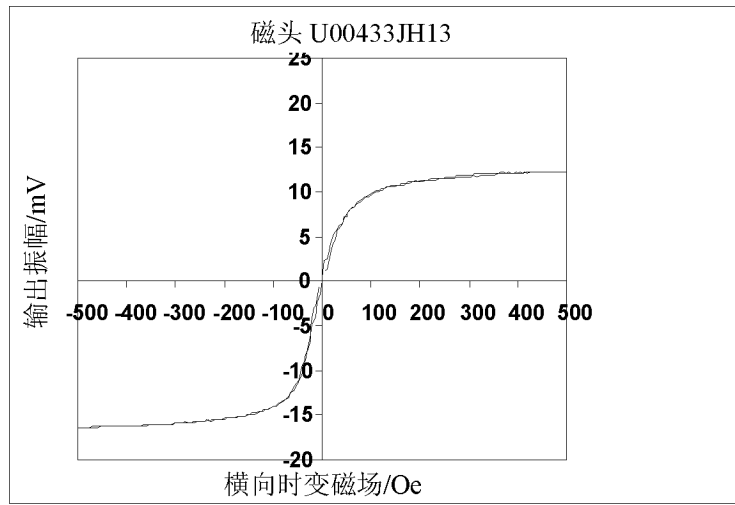


图 15

QST曲线/直流磁场强度=1300 Oe

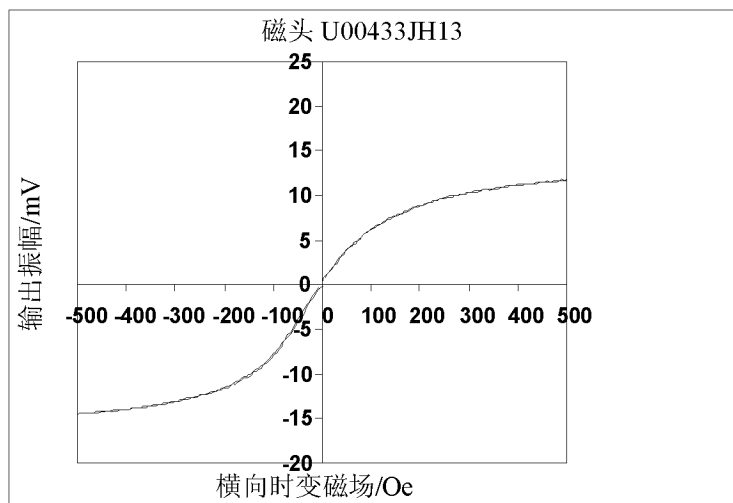


图 16

QST曲线/直流磁场强度=1400 Oe

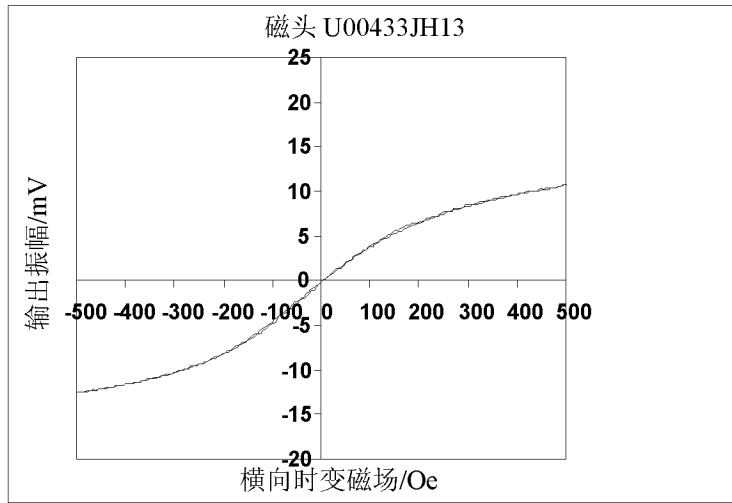


图 17

QST曲线/直流磁场强度=1500 Oe

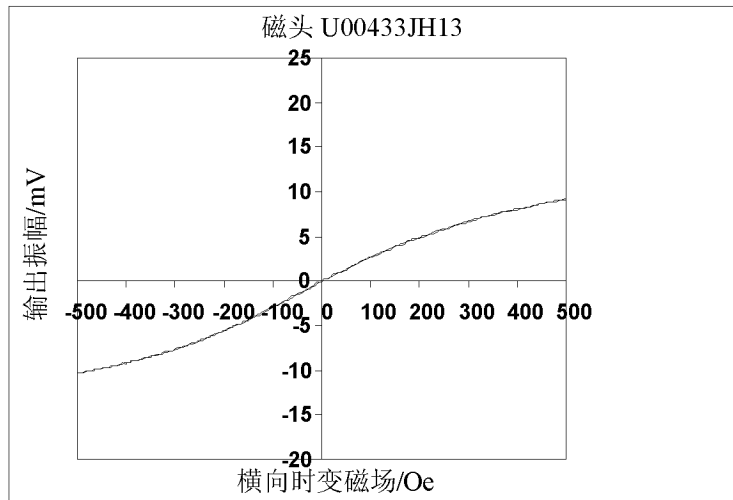


图 18

QST曲线/直流磁场强度=1600 Oe

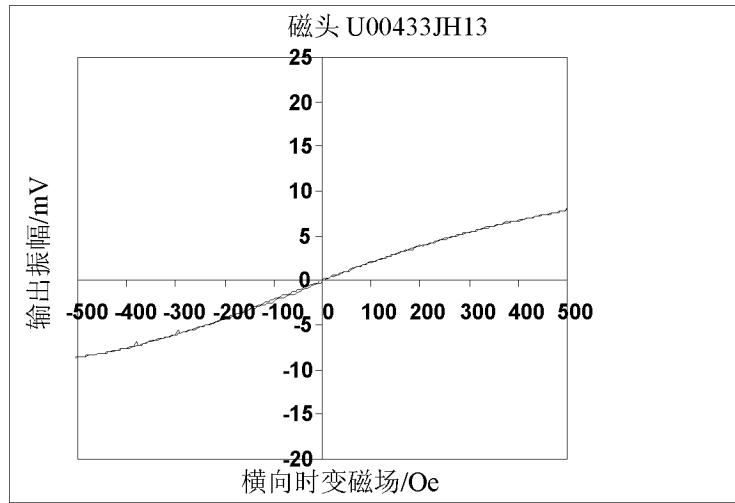


图 19

QST曲线/直流磁场强度=1800 Oe

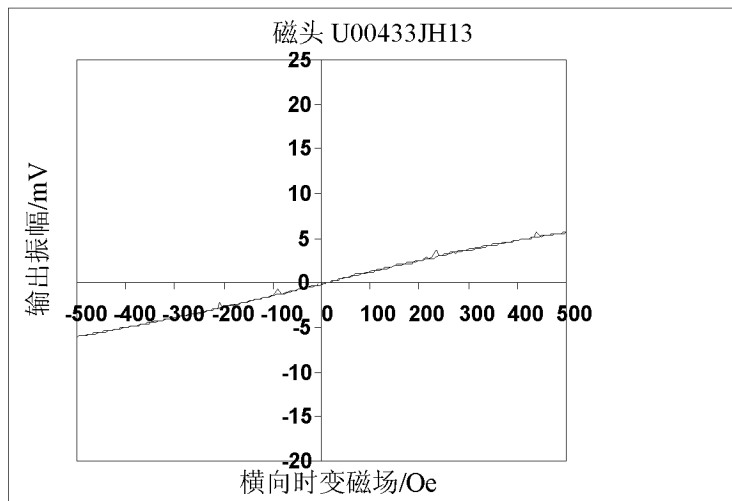


图 20

QST曲线/直流磁场强度=2000Oe

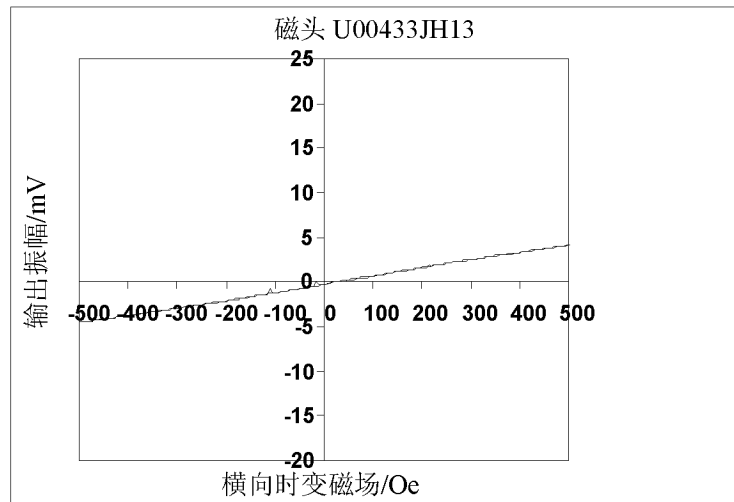


图 21

相应振幅 Vs 外部纵向直流磁场

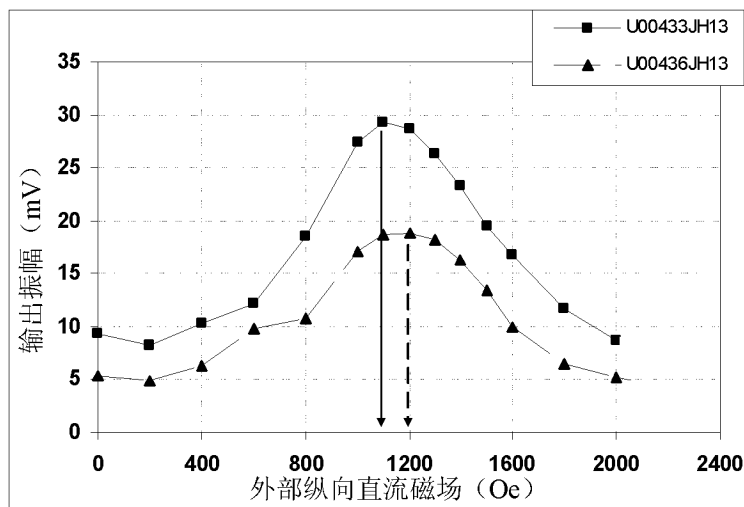


图 22