



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102183793 A

(43) 申请公布日 2011. 09. 14

(21) 申请号 201010596073. 3

(22) 申请日 2010. 12. 20

(30) 优先权数据

0959312 2009. 12. 21 FR

(71) 申请人 原子能与替代能源委员会

地址 法国巴黎

(72) 发明人 奥利维尔·雷东

(74) 专利代理机构 北京泰吉知识产权代理有限公司 11355

代理人 张雅军

(51) Int. Cl.

G01V 3/40 (2006. 01)

G01C 17/30 (2006. 01)

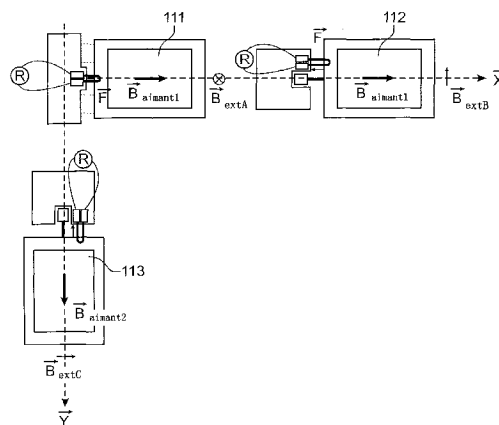
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

包含形成在同一基板上且具有各自不同磁化方向的磁性结构的一装置的制造

(57) 摘要

本发明涉及一种用于制造包含置于一基板上且在不同方向上被磁化的磁性块 (111、112、113) 的一装置的方法, 所述方法包含以下步骤: a) 在置于一基板上的由至少一种反铁磁性材料构成的一个或多个层体 ($104_1, 104_2, 104_3$) 及由至少一种铁磁性材料构成的一个或多个层体 ($105_1, 105_2$) 的一堆叠 (108) 中形成至少一个第一块体及至少一个第二块体, 块体为长型且是分开的并且分别沿着一第一主要方向及一第二主要方向延伸, 第一主要方向及第二主要方向之间形成一第一非零角度 α ; b) 在大于反铁磁性材料的有序化温度或大于所述反铁磁性材料的阻隔温度或尼尔温度的一温度下对块体进行退火。



1. 一种用于制造包含置于一基板上且以不同方向被磁化的磁性块 (111、112、113、211a、211b、211c、212a、212b、212c、213a、213b、213c) 的一装置的方法, 所述方法包含以下步骤:

a) 在置于一基板上的由反铁磁性材料构成的一个或多个层体 ($104_1, 104_2, 104_3$) 及由铁磁性材料构成的一个或多个层体 ($105_1, 105_2$) 的一堆叠 (108) 中形成至少一个第一块体及至少一个第二块体的一步骤, 所述块体是分开的, 所述第一块体及所述第二块体为长型且分别沿着一第一主要方向及一第二主要方向延伸, 所述第一主要方向及所述第二主要方向之间形成一第一非零角度 α ;

b) 在高于所述反铁磁性材料的有序化温度或阻隔温度或尼尔温度的一温度下对所述块体进行退火的一步骤, 此退火步骤还包含在此退火期间施加以与所述第一主要方向及所述第二主要方向形成有一第二非零角度 θ 的方向且强度在退火期间变化的一磁场, 因此在施加磁场期间:

- 首先, 施加特定强度的一磁场, 其强度大于所述块体沿着它们的难磁化轴的饱和磁场 H_w 的强度,

- 接着, 降低所述特定强度, 使得所述磁场在所述第一主要方向上的投影及所述磁场在所述第二主要方向的投影的各自的模数大于所述块体沿着它们的易磁化轴的一饱和场值 H_L , 且所述磁场垂直于所述第一主要方向的投影及所述磁场垂直于所述第二主要方向的投影的各自的模数小于所述块体沿着它们的难磁化轴的一饱和场值 H_w 。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于: 其中在所述退火步骤之后, 允许所述块体冷却的同时, 继续施加所述磁场。

3. 根据权利要求 1 或权利要求 2 中的任一项所述的方法, 其特征在于: 其中所述第一角度 α 为 90° , 所述第二角度 θ 为 45° 。

4. 根据权利要求 1 至权利要求 3 中的任一项所述的方法, 其特征在于: 其中

$$H_L = \frac{Wt}{L^2} \left[\ln \left(\frac{4L}{W} \right) - 1 \right] * 4 * \pi * M_s$$

$$H_w = 4 * \pi * M_s * t * \left[\frac{1}{t+W} - \frac{W}{L^2} \left[\ln \left(\frac{4L}{W} \right) - 1 \right] \right]。$$

其中 t 是所述块体的厚度, L 是所述块体的长度, W 是所述块体的宽度, M_s 是饱和磁化强度。

5. 根据权利要求 1 至权利要求 4 中的任一项所述的方法, 其特征在于: 所述堆叠包含至少一个位于两个反铁磁性层体 (AF) 之间且与它们接触的铁磁性层体 (F)。

6. 根据权利要求 1 至权利要求 5 中的任一项所述的方法, 其特征在于: 在步骤 a) 期间, 在一堆叠 (108) 中另外形成沿着所述第一主要方向延伸的至少一第三长型块体。

7. 根据权利要求 1 至权利要求 6 中的任一项所述的方法, 其特征在于: 其中所述块体 (111、112、113) 中的至少一个, 自身为彼此分离且平行的多个平行六面体块体 (211a、211b、211c、212a、212b、212c、213a、213b、213c) 的形式。

8. 一种用于制造一个三轴磁传感器的方法, 其特征在于: 其包含权利要求 1 至权利要求 7 中任一项方法的实施。

包含形成在同一基板上且具有各自不同磁化方向的磁性结构的一装置的制造

技术领域

[0001] 本发明关于装备有在一基板上形成的多个磁性结构之装置的领域,且提供了一种在同一支撑板上制造具有各自不同磁化方向的磁区的改进方法。

[0002] 它在用以检测及/或测量一磁场的装置,例如 MEMS(MEMS = 微机电系统)或 NEMS(NEMS = 纳米机电系统)型磁传感器的领域中有应用价值,其适于沿着多个轴,尤其是沿着三个轴测量磁场。

[0003] 例如,其适用于制造测量地磁场的装置,诸如具有一指南针功能的装置。

背景技术

[0004] 人们已经知道如何制造能够沿着三个轴测量一磁场的一磁传感器。

[0005] 要制造上述磁传感器,必需产生形成一磁体的区域,其磁化方向彼此正交。

[0006] 制造包含在同一基板上且具有不同磁化方向的磁区的感测器会带来一个问题。

[0007] 已知根据一第一方式将磁化方向不同的区域连续沉积在同一基板上,或者根据一第二方式,在同一基板上形成磁化方向相同的区域,然后对这些区域中至少一个执行局部加热以改变其磁化方向。

[0008] 经证实当要在基板上产生的磁区数目很大时,上述第二方式实施起来很耗时,因此难以在工业规模数上应用。

[0009] 第一方式的缺点是要求在一磁场下使用退火温度完全相异的不同材料,这限制了对材料的选择且使制造过程变得复杂。

[0010] 要解决的问题是要找到一种在同一基板上制造具有各自不同且固定的磁化方向的区域的方法。

发明内容

[0011] 本发明首先关于一种制造包含置于一基板上的磁性块的一装置的方法,磁性块具有各自不同的磁化方向,

[0012] 所述方法包含以下步骤:

[0013] a) 在置于一基板上的由至少一种反铁磁性材料构成的一个或多个层体及由至少一种铁磁性材料构成的一个或多个层体的一堆叠上形成至少一个第一块体及至少一个第二块体,所述块体为长型且是分开的并且分别沿着一第一主要方向及一第二主要方向延伸,第一主要方向及第二主要方向之间形成一第一非零角度 α ;

[0014] b) 在大于或等于依反铁磁性材料来确定的一适当温度的一个温度下,对所述块体进行退火。

[0015] 当所述反铁磁性材料磁无序时,所述适当温度对应于所述反铁磁性材料的有序化温度。在沉积在一铁磁性材料上后,一无序反铁磁性材料表现出无交换耦合。

[0016] 当所述反铁磁性材料磁有序时,此适当温度对应于所述阻隔温度,即若高于此温

度,则互相接触的一反铁磁性材料与一铁磁性材料之间不再有任何交换耦合。

[0017] 此适当温度还可对应于所述尼尔温度,即若高于此温度,则所述反铁磁性材料变为顺磁性的。

[0018] 沉积在一铁磁性材料上后,一有序反铁磁性材料表现出交换耦合

[0019] 当执行一恰当的退火步骤时,由于所述块体的长型形状,所述磁化可自然地沿着它们的所述主要方向,即测量它们长度的方向,而排列。

[0020] 退火后,在冷却期间,所述块体各自的磁化被固定。

[0021] 所述堆叠可以在步骤 a) 中形成为包含位于两个反铁磁性层体之间且与它们相接触的至少一个铁磁性层体。

[0022] 这使得在所述有序化退火期间,可能阻隔所述铁磁性材料 F 层体在一已定义方向上磁化。

[0023] 根据一个可能的实施例,所述第一块体与所述第二块体可为平行六面体形状。

[0024] 根据另一可能的实施例,所述第一块体及 / 或所述第二块体自身可以采用彼此分离且平行的平行六面体子块体的形式。

[0025] 所述方法还可包含在所述退火期间,施加与所述第一主要方向形成一第二非零角度 θ 的一方向的一磁场,所述磁场的强度在所述退火期间是变化的。

[0026] 所述磁场的施加可使每一块体中的磁化饱和,从而防止出现磁畴。

[0027] 所述施加磁场的强度在所述退火期间是变化的,以将具有不同方向的磁性块磁场的磁化与它们相对应的主要方向尽可能地接近,同时维持施加磁场的方向与块体主要方向成一特定角度。

[0028] 根据一个可能实施例,所述第一角度 α ,即所述块体之间形成的角度,可以是 90° ,而所述第二角度 θ ,即所述磁场的方向与所述第一块体的主要方向之间的角度,可以是 45° 。

[0029] 这使得利用各自磁化方向为 90° 的磁性块成为可能。

[0030] 在步骤 b) 中,在施加所述磁场期间,首先可施加特定强度的一磁场,此特定强度大于所述块体沿着它们的难磁化轴的所述磁饱和场的强度。

[0031] 接着,可降低所述特定强度,使得所述磁场在所述第一主要方向上的投影及所述磁场在所述第二主要方向的投影的各自的模数大于所述块体沿着它们的易磁化轴的一饱和场值 H_L ,而所述磁场垂直于所述第一主要方向的投影及所述磁场垂直于所述第二主要方向的投影的各自的模数小于所述块体沿着它们的难磁化轴的一饱和场值 H_w 。

[0032] 接着在此磁场强度下,所述温度可降低,例如降到环境温度,以捕获所述铁磁性材料的磁化方向,通过所述反铁磁性材料尽可能地靠近所述磁性块的主要方向。

[0033] 可得到:

$$[0034] \quad H_L = \frac{Wt}{L^2} \left[\ln \left(\frac{4L}{W} \right) - 1 \right] * 4 * \pi * M_s$$

$$[0035] \quad H_w = 4 * \pi * M_s * t * \left[\frac{1}{t+W} - \frac{W}{L^2} \left[\ln \left(\frac{4L}{W} \right) - 1 \right] \right]$$

[0036] 其中 t 是所述块体的厚度, L 是所述块体的长度, W 是所述块体的宽度, M_s 是所述饱和磁化强度。

[0037] 在步骤 a) 中,可在所述堆叠上另外形成在所述第一主要方向延伸 的至少一第三长型块体。

[0038] 本发明还涉及一种制造包含实施如以上所述的一方法的一个三轴磁传感器的方法。

附图说明

[0039] 图 1A- 图 1C 及图 2 显示了用于制造装备有在同一基板上形成且磁化方向不同的多个磁性块的一装置的一方法的实施例,

[0040] 图 3A- 图 3B 显示了包含由反铁磁性层体及铁磁性层体的一堆叠形成的磁性块的一装置,每一块体再被成分开的平行六面体形磁性子块体,

[0041] 图 4 显示了由根据本发明的一制造方法制造的一个三轴传感器的一范例,

[0042] 不同图式中的相同、相似或等效部分可具有相同的标号,以利于从一个图式到另一图式,

[0043] 为了使所述图式较容易理解,显示在所述图式中的所述不同部分不一定依照相同的比例。

具体实施方式

[0044] 现在将结合图 1A- 图 1C、图 2 及图 3A- 图 3B 给出制造包含在同一基板上且磁化方向不同的区域的一装置的一方法的一个范例。

[0045] 如图 1 中所示,此方法的第一步骤可在一支撑板 101 上形成一叠磁性层体,例如,上述支撑板可以是一 SOI(SOI 表示“绝缘体上硅”)基板的一硅层。

[0046] 堆叠由以一反铁磁性材料 AF 为基础制成的层体 $104_1, \dots, 104_m$ (其中 m 是一整数,例如如图 1A, m 等于 3) 与以一铁磁性材料 F 为基础制成的层体 $105_1, \dots, 105_n$, 其中 n 是一整数,例如在 4 与 25 之间 (例如,图 1A, n 等于 2) 交替排列而成。

[0047] 铁磁性材料 F 可以以高饱和磁化强度 M_s , 通常大于 1000 emu/cm^3 的一软磁性材料为基础而形成。例如,铁磁性材料 F 可以是例如以 Fe、Co 及 Ni 的一合金为基础。

[0048] 就反铁磁性材料 AF 而言,其可以是以 Mn 为基础的一合金,例如,为 NiMn 或 PtMn 或 PdPtMn 类型。在其它范例中,反铁磁性材料 AF 可以是 FeMn 或 IrMn 或 NiO 或 Fe_2O_3 。

[0049] 可形成堆叠 108,使得以铁磁性材料 F 为基础制得的一层体位于反铁磁性材料 AF 的两层体之间。

[0050] 当反铁磁性材料 AF 的层体位于铁磁性材料 F 的一层体每一侧时,反铁磁性材料与铁磁性材料间界面处的一交换耦合可能在有序化退火期间阻隔居间的铁磁性材料 F 层体在一已界定方向上的磁化。

[0051] 反铁磁性材料 AF 为基础的层体 $104_1, \dots, 104_m$ 所具有的厚度 t' (在垂直于支撑板 101 之一主平面且平行于图 1A 中定义的参考系 $[0; \vec{i}; \vec{j}; \vec{k}]$ 的向量 $\vec{k}$ 的一方向上测量) 可在,例如 2 纳米到 50 纳米之间,例如大约为 20 纳米。

[0052] 就以铁磁性材料为基础的层体 $105_1, \dots, 105_n$ 而言,其所具有的厚度 t (也是在平行于所述向量 $\vec{k}$ 的一方向上测量) 可在,例如 2 纳米到 40 纳米之间,例如,大约为 10 纳米。

[0053] 堆叠 108 所具有的总厚度可在,例如大约 200 纳米到 600 纳米之间。

[0054] 接着可通过对所述层体执行蚀刻,在所述层体之堆叠 108 中形成图案,上述蚀刻可为例如 IBE 类型(IBE 表示“离子束蚀刻”)。

[0055] 从而形成至少三个独立且不连接的块体 111、112、113,每一块体由反铁磁性材料 AF 与铁磁性材料 F 的层体堆叠构成(图 1B)。

[0056] 块体 111、112、113 各具有一细长或长型形状。

[0057] 例如,块体 111、112、113 各可呈一长方体形状(图 1B)。

[0058] 块体 111、112、113 所具有的宽度 W (在平行于平面 $[0; \vec{i}; \vec{j}]$ 的一平面中测量)可在例如 20 微米到 500 微米之间,例如大约为 20 微米。

[0059] 长度 L (在平行于平面 $[0; \vec{i}; \vec{j}]$ 的一平面中测量)可以在例如 20 到 500 微米之间,例如大约为 100 微米。

[0060] 块体之长度与宽度的纵横比 L/W 可以较高且例如可以至少为 5。

[0061] 根据一变化例,块体 111、112、113 中之一个或多个可以采用彼此平行且分离的一组长方体子块体 211a、211b、211c、212a、212b、212c、213a、213b、213c 之形式(图 3A 与图 3B)。

[0062] 将块体 211、212、213 再分为平行六面体子块体,特别地,各子块体具有一高的长度 L 对宽度 W_i 的纵横比,例如 $L/W_i \geq 10$,这样可以确保沿着它们各自的主要方向的磁化有一个良好的对齐。

[0063] 子块体 211a、211b、211c、212a、212b、212c、213a、213b、213c 所具有的宽度 W_i 可在例如 $0.25 \mu m$ 与 $10 \mu m$ 之间,且较佳地小于 $5 \mu m$ 。

[0064] 在堆叠 108 中蚀刻的至少两个块体 111、113,或子块体 211a、213a 位于不同的主要方向上(块体 111、113 的主要方向由图 1B 中的轴 $\vec{x}$ 及 $\vec{y}$ 定义),它们之间形成一角度 α ,例如 90° 。一些块体 111、112,或子块体 211a、212a 位于彼此平行的各自主要方向上或同一方向上。

[0065] 接着,一旦块体 111、112、113 形成,执行一磁性有序化退火,设定磁性有序化退火的温度以使反铁磁性材料有序化。

[0066] 当反铁磁性材料 AF 是一无序反铁磁性材料,例如为 NiMn 或 PtMn 或 PdPtMn 的类型时,换言之是在沉积后不表现出任一交换耦合的一材料,退火步骤在大于或等于此材料之有序化温度的一温度下执行。此有序化温度通常在 $250^\circ C$ 以上。

[0067] 对于一有序反铁磁性材料 AF,诸如 FeMn 或 IrMn 或 NiO 或 Fe_2O_3 ,即在沉积后表现出交换耦合的一材料,退火步骤在此材料之阻隔温度或尼尔温度以上执行,即通常在 $150^\circ C$ 与 $250^\circ C$ 之间。

[0068] 例如,当反铁磁性材料为 PtMn 时,退火步骤可在高于 $260^\circ C$ 的一温度下执行。

[0069] 退火处理可以被执行以使后者的处理期间,尤其是后者开始时,有一个外加磁场 $\vec{B}$,会形成一个相对于块体 111、113 的主要方向 $\vec{x}$ 与 $\vec{y}$ 为非零角度 θ ,该角度可为 45° 。

[0070] 施加的磁场可以是强度 $\|\vec{B}\| = B_{sat}$ 的一饱和场,强度大于对应于所述块体沿着它们的难磁化轴的饱和场的一预定场值。

[0071] 上述难磁化轴是为了排列块体的磁化而施加的磁场为最大的轴。

[0072] 为了使块体 111 的磁化饱和且消除其所有磁畴,对块体 111 施加一饱和场,该饱和

场大于或等于沿着 $\vec{Y}$ 的饱和场。

[0073] 当块体 111 分成子块体 211a、211b、211c 时,为了使磁化饱和且消除块体 111 的所有磁畴,对块体施加一饱和场,该饱和场大于或等于一子块体沿着 $\vec{Y}$ 的饱和场。

[0074] 在利用宽度不同的块体的情况下,施加大于宽度最小的块体的饱和场的一饱和磁场。

[0075] 施加的饱和场可远大于所述预定值且例如大约可以为 1T 或 2T(图 1C)。

[0076] 随后所施加磁场的强度降低,使得施加磁场沿着轴 $\vec{X}$,即测量块体 111 及 112 的长度的轴,投影的模数大于或等于方向沿着块体 111、112 的易磁化轴的块体 111、112 的饱和场 H_L 。施加磁场沿着轴 $\vec{Y}$,即测量块体 113 的长度的轴,投影的模数大于或等于块体 113 沿着其易磁化轴的饱和场 H_L 。

[0077] 沿着轴 $\vec{Y}$,即测量出所述块体 111 及 112 的宽度的轴,投影的施加磁场的模数小于块体 111 及 112 沿着它们的难磁化轴的所述饱和场 H_w 。

[0078] 沿着轴 $\vec{X}$,即测量出块体 113 的宽度的轴,投影的施加磁场的模数小于沿着块体 113 的难磁化轴的饱和场 H_w 。

[0079] 沿着轴 $\vec{Y}$ 投影的施加磁场的模数可比块体 111、112 沿着它们的难磁化轴的饱和场 H_w 低 20 倍,以确保块体 111、112 中的磁化方向与块体 111、112 的主要方向相差 5° 。

[0080] 一平行六面体块体具有方向沿着对应于测量其长度 L 方向的轴 $\vec{X}$ 的一主要方向,饱和场 H_L 可利用以下公式计算:

$$[0081] \quad H_L = \frac{Wt}{L^2} \left[\ln\left(\frac{4L}{W}\right) - 1 \right] * 4 * \pi * M_s$$

[0082] 此相同块体沿着轴 $\vec{Y}$ 的饱和场 H_w 可利用以下公式计算:

$$[0083] \quad H_w = 4 * \pi * M_s * t * \left[\frac{1}{t+W} - \frac{W}{L^2} \left[\ln\left(\frac{4L}{W}\right) - 1 \right] \right]$$

[0084] 其中 t 是块体的所有铁磁性层体的厚度, M_s 是饱和磁化强度, L 是块体的长度而 W 是块体的宽度。

[0085] 因此,例如,对于长度为 $100 \mu\text{m}$ 、宽度为 $2 \mu\text{m}$ 及厚度为 100 纳米的块体 111、112,可得出:

$$[0086] \quad H_L = 1\text{G 及}$$

$$[0087] \quad H_w = 513\text{G。}$$

[0088] 不论块体的主轴方向怎样,通过以 45° 施加 30G 的一个场,可获得距离一块体的主轴小于 5° 的磁化方向。

[0089] 沿着第二主要方向投影的所述场的模数较佳地低于 H_w 的 5%,以确保一磁化方向相对于第一主要方向的偏离小于 5° ,且最好小于 2%以使一磁化方向相对于第一主要方向的偏离小于 2° 。

[0090] 在块体 111、112 宽度不同的情况下,则将获得相对于每一块体的主要方向不同的磁化方向。

[0091] 例如,如果块体 111 具有一第一宽度 $W = W_1 = 10 \mu\text{m}$ 及块体 112 具有一第二宽度 $W = W_2 = 2 \mu\text{m}$,块体 111、112 各具有一长度 $L = 100 \mu\text{m}$,且例如,如果施加 30G 的一磁场,

则块体 111 中的磁化将相对于其主要方向偏差约 20° ，而块体 112 中的偏差仅 5° 。

[0092] 下表给出了依块体的尺寸，以确保使得其磁化方向与其主方向偏离 5° 或 2° 而施加的场的范例。

[0093]

磁化方向偏离 5°						
长度	100	100	100	100	100	100
宽度	10	5	2	1	0.25	0.25
H_L	105	210	513	981	1800	3087
H_W	3	1.8	0.9	0.5	0.3	0.17
$\theta = 45^\circ$ 时 H 的模数	7	14	33	63	116	199
磁化方向偏离 2°						
长度	100	100	100	100	100	100
宽度	10	5	2	1	0.5	0.25
H_L	105	210	513	981	1800	3087
H_W	3	1.8	0.9	0.5	0.3	0.17
$\theta = 45^\circ$ 时 H 的模数	3	5	13	25	45	78

[0094]

[0095] 为了在退火炉中不必利用太低的磁场，可取的是利用宽度 W 小于 $2\mu m$ 的块体。

[0096] 退火温度随后降低，使得在每一块体中产生反铁磁性材料 AF 与铁磁性材料 F 之间的一交换，这使明确固定磁化方向成为可能。

[0097] 在退火过程结束时，获得具有大体平行于轴 $\vec{x}$ 或可能与轴 $\vec{x}$ 偏差小于 5° 的相同磁化方向的块体 111、112，而块体 113 具有不同磁化方向，其实质上垂直于块体 111 及 112 的磁化方向。

[0098] 例如，应变计类型的一个三轴磁场传感器可由如此制造的装置形成。

[0099] 为此,根据一个范例,一钝化层可特定沉积在所述装置上,但用来悬挂一应变计的位置除外。

[0100] 可由金属制成的计量器,在沉积之后经蚀刻而制成。

[0101] 接着在整个装置上面沉积一保护层,所述保护层特别用来保护应变计。

[0102] 接着在保护层中,具体而言,在应变计的自由端上形成开口,以通过金属镀膜建立电气接点。

[0103] 图 4 显示包含沿着彼此垂直的 3 个轴的元件的磁场测量传感器,即在三个方向上执行磁场测量的一个实施例。

[0104] 此传感器包含由第一块体 111 构成的一第一结构,其能够测量要被测量的磁场的一分量 $\vec{B}_{\text{extA}}$,分量 $\vec{B}_{\text{extA}}$ 平行于与基板的主平面垂直的一轴,即垂直于轴 $\vec{X}$ 与 $\vec{Y}$ 。

[0105] 传感器还包含由块体 112 构成的一第二结构,其能够测量磁场平行于轴 $\vec{Y}$ 的一分量 $\vec{B}_{\text{extB}}$,以及包含与第二结构相同元件的一第三结构 113。经受平行于轴 $\vec{Y}$ 的一压缩力或张力的第三结构的应变计因此能够测量平行于轴 $\vec{X}$ 的所述磁场的一分量 $\vec{B}_{\text{extC}}$ 。此第三结构的磁性块 113 具有一磁性方向 $\vec{B}_{\text{aimant2}}$,其垂直于第一结构与第二结构的块体 111、112 的磁性方向 $\vec{B}_{\text{aimant1}}$ 。

[0106] 如果诸如一磁体的一强干扰场使块体 111、112 或 113 的磁化方向反向,则一旦此磁体移离所述装置时,此方向即可复原。在磁干扰的情况下,所述磁化可能沿着小轴转动但在此干扰结束时即返回其初始位置。

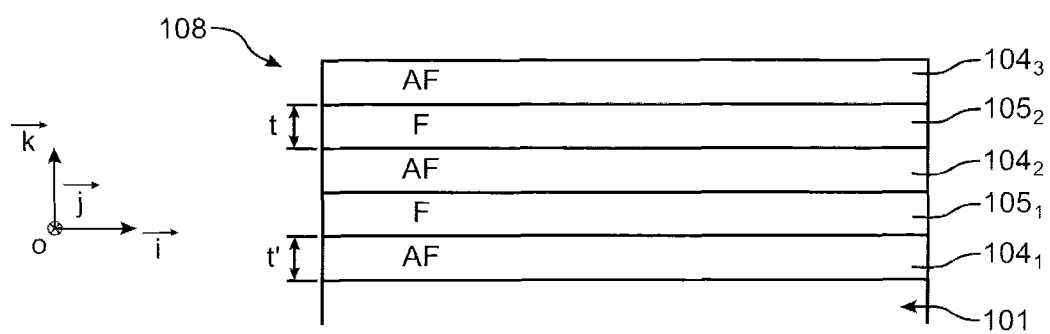


图 1A

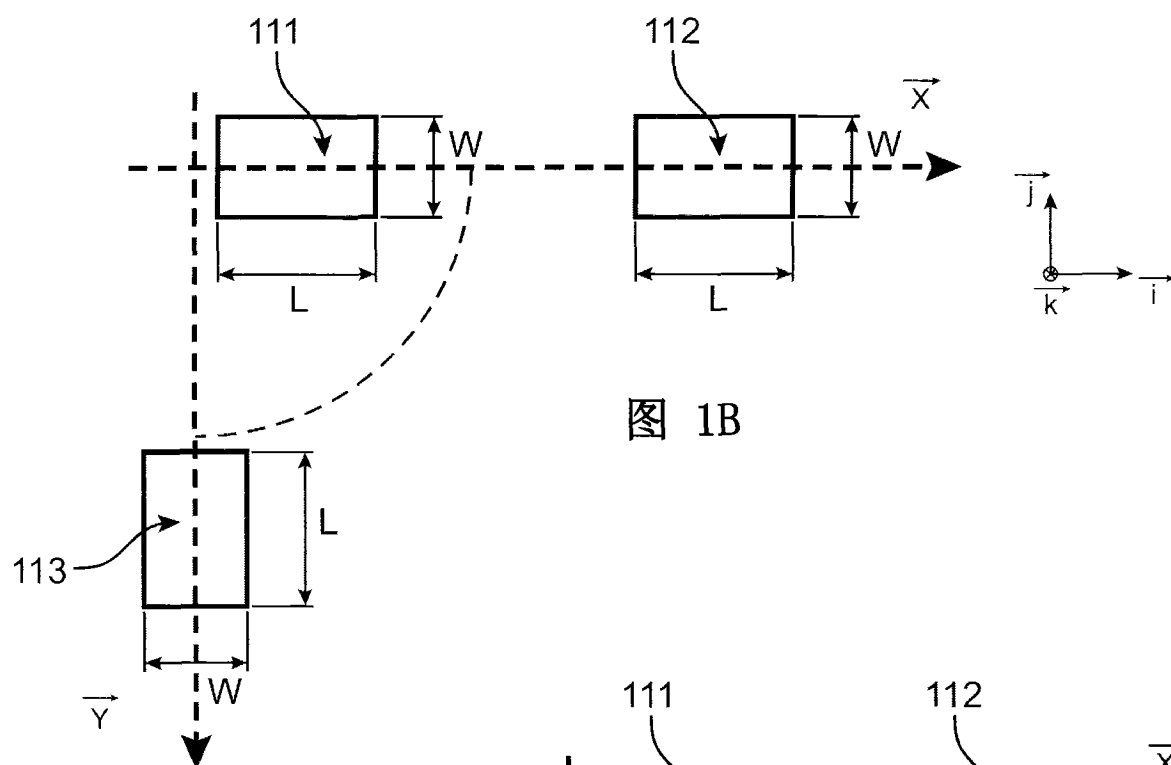


图 1B

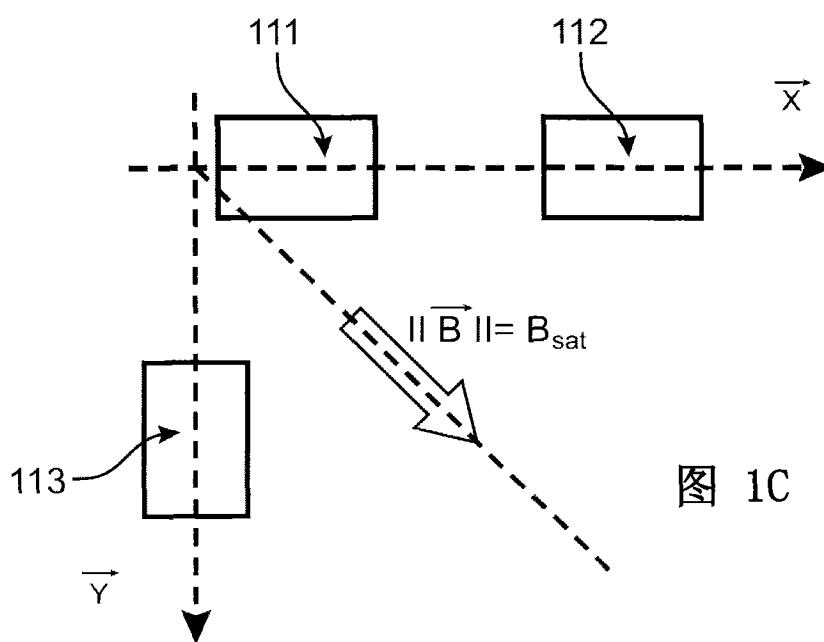


图 1C

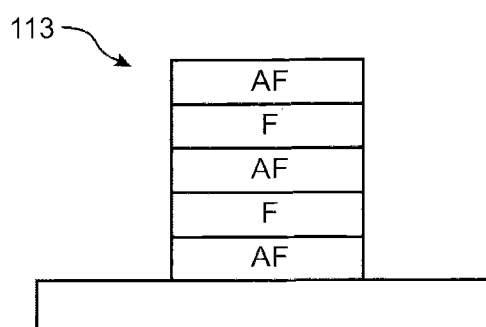


图 2

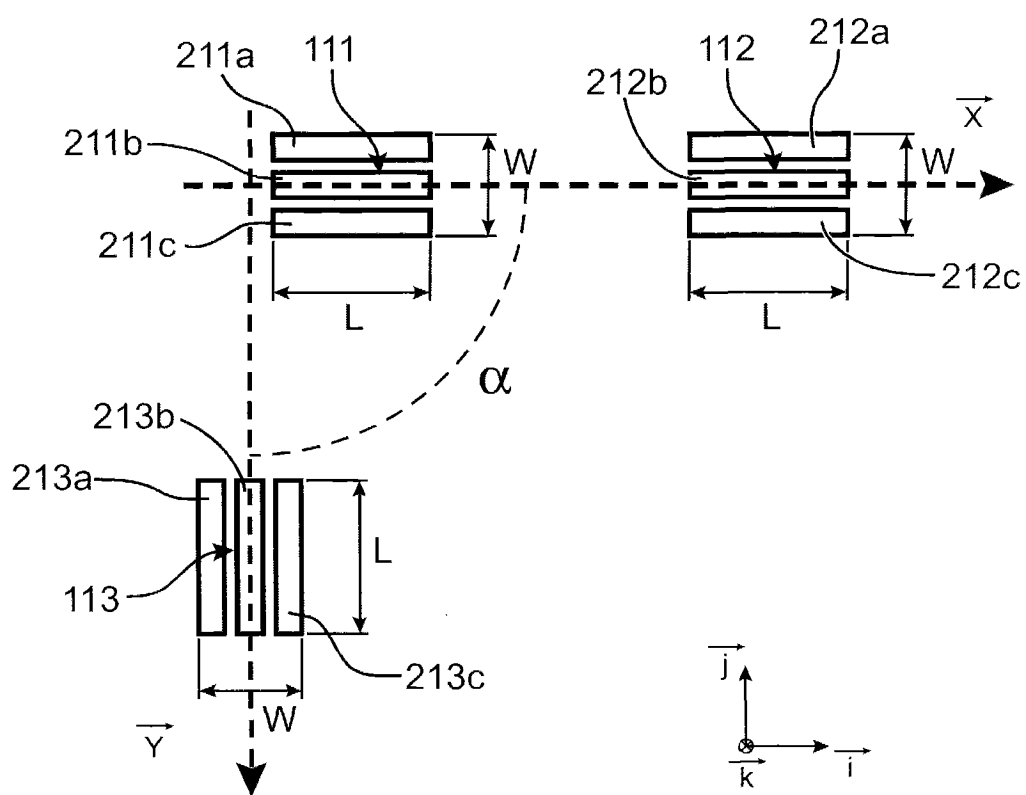


图 3A

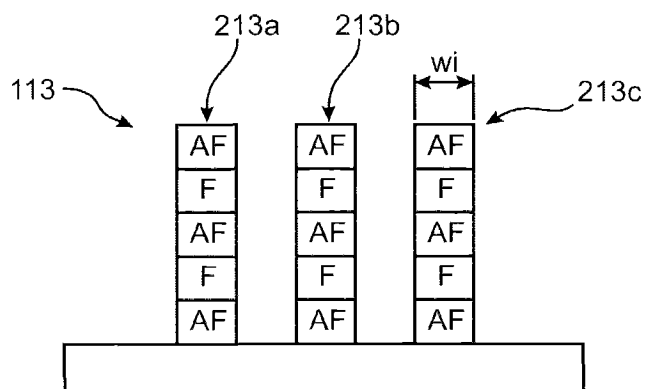


图 3B

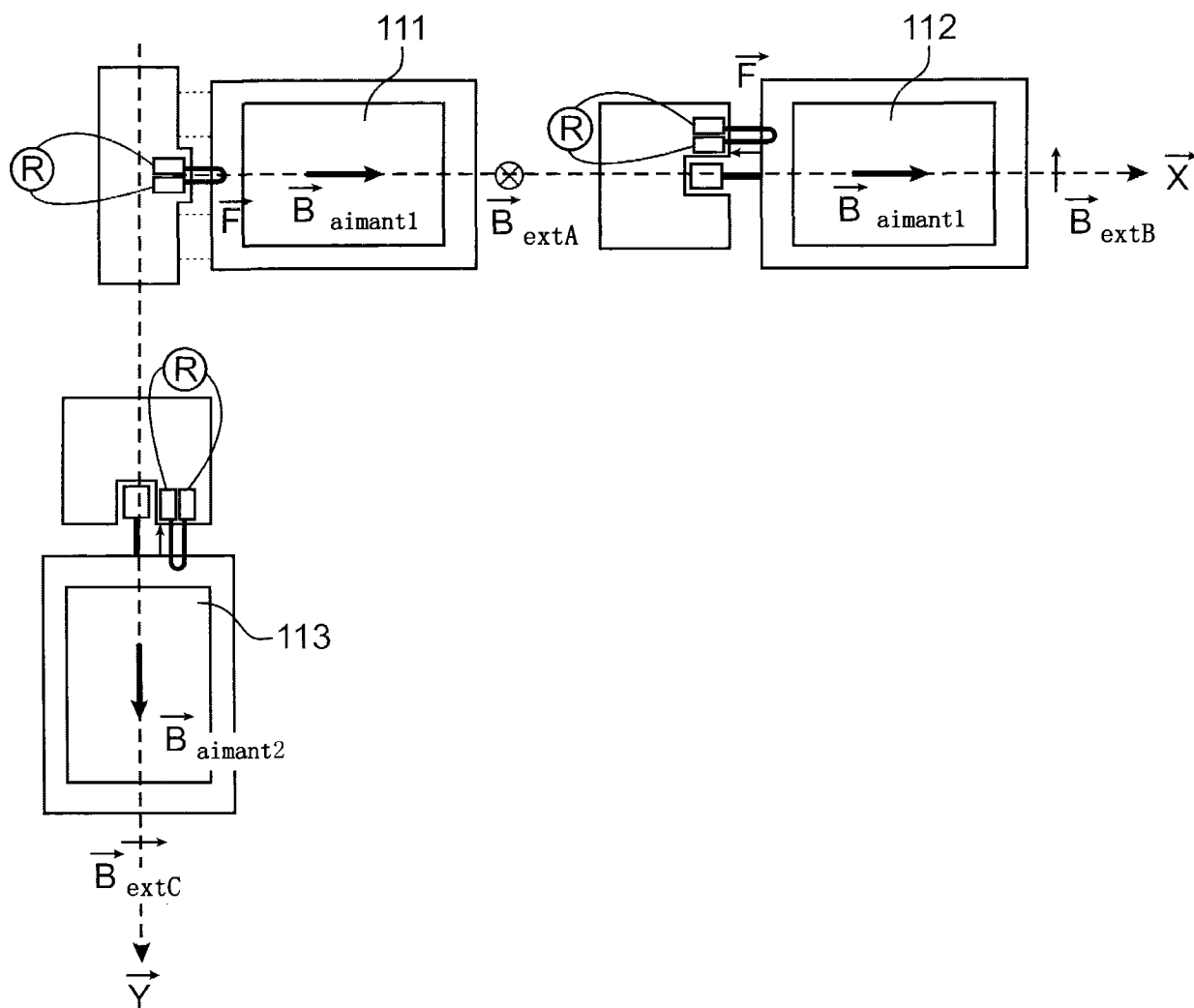


图 4