

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 43/12 (2006.01)

G01R 33/09 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510078866.5

[45] 授权公告日 2009 年 9 月 2 日

[11] 授权公告号 CN 100536188C

[22] 申请日 2005.3.11

[21] 申请号 200510078866.5

[30] 优先权

[32] 2004. 3. 12 [33] JP [31] 70927/04

[73] 专利权人 雅马哈株式会社

地址 日本静冈县

[72] 发明人 大桥俊幸 相曾功吉

[56] 参考文献

CN1406394A 2003.3.26

CN1367481A 2002.9.4

CN2791885Y 2006.6.28

CN2600826Y 2004.1.21

JP5 - 126577A 1993.5.21

审查员 郭 强

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 李晓舒 魏晓刚

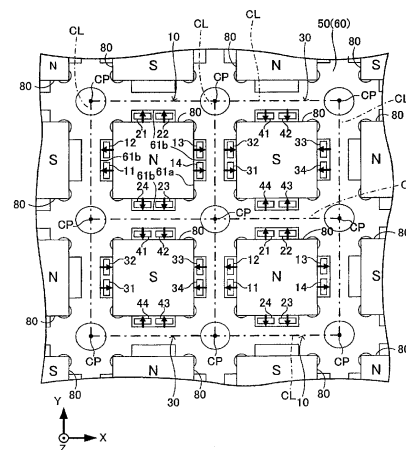
权利要求书 3 页 说明书 22 页 附图 35 页

[54] 发明名称

磁传感器制造方法、磁体阵列及其制造方法

[57] 摘要

本发明涉及一种磁传感器，包括 8 个 SAF 型 GMR 元件。GMR 元件中的 4 个检测 X 轴方向的磁场，它们被桥接在一起，从而构成 X 轴磁传感器。其它 4 个 GMR 元件检测 Y 轴方向的磁场，它们被桥接在一起，从而构成 Y 轴磁传感器。采用磁场来在固定方向上钉扎每个 GMR 元件的被钉扎层的磁化，该磁场是插入到磁体阵列的磁轭的正方形部分内的永久条形磁体于磁轭的矩形部分附近产生的。在磁轭的某一矩形部分附近产生的磁场在方向上与邻近前一矩形部分的矩形部分附近产生的磁场相差 90 度。



1. 一种用于制造磁传感器的方法，该磁传感器以一方式构造，使得至少两个巨磁电阻元件布置在基板上，且该巨磁电阻元件的被钉扎层的被钉扎的磁化方向基本相互垂直，每个该巨磁电阻元件包含包括被钉扎层和用于在一固定方向上钉扎该被钉扎层的该磁化的钉扎层的固定层；其磁化方向根据外部磁场而变化的自由层；以及设置在该被钉扎层和该自由层之间且由非磁性的电导体制成的隔离层，其中该固定层是多膜层叠固定层，该多膜层叠固定层被构造来使得

该被钉扎层包含邻近该隔离层的第一铁磁膜、层叠在该第一铁磁膜上的第二铁磁膜、以及夹在该第一铁磁膜和该第二铁磁膜之间的交换耦合膜；

该钉扎层包含交换偏置膜，其由反铁磁体制成，被设置为在与该交换耦合膜相反的一侧上邻近该第二铁磁膜，并适于通过与该第二铁磁膜交换耦合来在一固定方向上钉扎该第二铁磁膜的磁化；以及

该第一铁磁膜和该第二铁磁膜通过该交换耦合膜互相交换耦合；

该方法包括步骤：

制备包含多个永磁体和由磁性材料制成的薄板磁轨的磁体阵列，每个永磁体具有基本上长方体的形状，该长方体具有垂直于其轴截取的基本上为正方形形状的横截面，并且每个永磁体具有在其垂直于该轴的具有基本上正方形形状的相应的对立端面上产生的磁极；

该多个永磁体以一方式布置，使得其基本上正方形的端面的每一个的重心与四方格子的格点重合，设置在该四方格子的相同格线上的永磁体使得某一永磁体的该端面的一边与另一永磁体的该端面的一边基本排成直线，该多个永磁体的该端面基本在相同的平面上，并且两个邻近的、最靠近的永磁体的该端面上产生的磁极在极性上不同；并且

该磁轨具有按与所布置的永磁体基本相同的方式布置的多个通孔，每个通孔包括正方形部分和矩形部分，该正方形部分具有与该永磁体的该横截面的该基本上正方形形状基本相同的形状，每个该矩形部分沿该正方形部分的一边的中心部分形成并使该中心部分作为其长边；该多个永磁体穿过该多个通孔的相应的正方形部分插入；并且该多个永磁体的该端面所在的平面位于该磁轨的上表面和下表面之间；

制造晶片，其中在该基板上形成元件膜，每个元件膜包括将成为该固定层的膜、将成为该隔离层的膜、以及将成为该自由层的膜；以及

借助于以一方式将该晶片设置在该磁体阵列附近，使得该晶片的平面平行于该磁轭的平面，从而将在该磁轭的该矩形部分附近产生的磁场施加到该晶片上，并将该晶片保持在高温，来同时钉扎该晶片上形成的该元件膜中将成为该固定层的该膜的该磁化方向。

2. 一种磁体阵列，包含多个永磁体和由磁性材料制成的薄板磁轭，每个永磁体具有基本上长方体的形状，该长方体具有垂直于其轴截取的基本上为正方形形状的横截面，并且每个永磁体具有在其垂直于该轴的具有基本上正方形形状的相应的对立端面上产生的磁极；

该多个永磁体以一方式布置，使得其基本上正方形的端面的每一个的重心与四方格子的格点重合，设置在该四方格子的相同格线上的永磁体使得某一永磁体的该端面的一边与另一永磁体的该端面的一边基本排成直线，该多个永磁体的该端面基本在相同的平面上，并且两个邻近的、最靠近的永磁体的该端面上产生的磁极在极性上不同；并且

该磁轭具有按与所布置的永磁体基本相同的方式布置的多个通孔，每个通孔包括正方形部分和矩形部分，其中该正方形部分具有与该永磁体的该横截面的该基本上正方形形状基本相同的形状，每个该矩形部分沿该正方形部分的一边的中心部分形成并使该中心部分作为其长边；该多个永磁体穿过该多个通孔的相应的正方形部分插入；并且该多个永磁体的该端面所在的平面位于该磁轭的上表面和下表面之间。

3. 根据权利要求 2 的磁体阵列，其中在平视时的该磁体阵列的该磁轭中，以一方式形成有开口，使得每个该开口围绕通过连接该四方格子的相邻格点形成的正方形的重心。

4. 根据权利要求 2 的磁体阵列，其中在平视时，该磁轭的每个通孔具有边缘部分，该边缘部分具有基本上圆弧形状，并形成在该通孔的该正方形部分的相应角落处，从而向外膨胀。

5. 根据权利要求 3 的磁体阵列，其中在平视时，该磁轭的每个通孔具有边缘部分，该边缘部分具有基本上圆弧形状，并形成在该通孔的该正方形部分的相应角落处，从而向外膨胀。

6. 一种用于制造磁体阵列的方法，该磁体阵列包含由薄板形成的阵列

基板、排列在该阵列基板上的多个永磁体、以及设置在该多个永磁体的上部处并由磁性材料薄板形成的磁轭，该方法包括步骤：

借助于按预定的四方格子阵列在该薄板中形成多个凹槽来制备该阵列基板，每个该凹槽具有预定的深度和在形状上与该永磁体的端面基本相同的正方形形状；

借助于按该预定的四方格子阵列在该磁性材料薄板中形成多个通孔来制备该磁轭，每个该通孔包含正方形部分和矩形部分，其中该正方形部分具有在形状上与该阵列基板的该凹槽基本相同的正方形形状，每个该矩形部分沿该正方形部分的一边的中心部分形成，并使该中心部分作为其长边；

在该阵列基板上所述凹槽的两相邻平行线之间布置每个隔离物；

以一方式将该磁轭放置在所述隔离物上，使得在平视时，该阵列基板的该多个凹槽与该磁轭的相应的通孔对齐；

以一方式经过该磁轭的相应的通孔将该多个永磁体插入该阵列基板的相应凹槽内，使得该永磁体的下端面邻接该凹槽的相应底面，每个该永磁体具有基本为长方体的形状，该长方体具有垂直于其轴截取的呈正方形形状的横截面，该正方形形状在形状上与该阵列基板的该凹槽和该磁轭的该通孔的正方形部分基本相同，每个永磁体具有在具有该正方形形状的其相应的对立端面上产生的磁极；

抬升该磁轭，直至所述永磁体的上端面所在的平面位于该磁轭的上表面和下表面之间；以及

移去所述隔离物。

7. 根据权利要求 6 的用于制造磁体阵列的方法，其中制备该磁轭的步骤包括步骤：在平视时通过连接该四方格子的格点形成的正方形的重心所在的位置处，在该薄板中形成开口。

8. 根据权利要求 7 的用于制造磁体阵列的方法，其中在抬升该磁轭的步骤中，该磁轭借助于在该开口处用工具夹持该磁轭来抬升。

磁传感器制造方法、磁体阵列及其制造方法

技术领域

本发明涉及一种采用具有多膜层叠固定层的磁电阻元件(magnetoresistance element)(所谓的合成自旋阀膜(synthetic spin valve film))制造磁传感器的方法,还涉及一种适用于该方法的磁体阵列,以及涉及一种制造磁体阵列的方法。

背景技术

已知的传统巨磁电阻元件(以下以“GMR 元件”提及)包括:固定层,其包括被钉扎层、以及用于将被钉扎层的磁化钉扎在一固定方向上的钉扎层;自由层,其磁化方向根据外部磁场变化;以及位于被钉扎层和自由层之间的、由非磁性的电导体制成的隔离层。GMR 元件的电阻根据被钉扎层的磁化方向和自由层的磁化方向之间的角度而变化。换句话说,GMR 元件的电阻根据外部磁场的与被钉扎层的磁化方向排成直线的分量而变化。因此,GMR 元件的磁检测方向与被钉扎层的磁化方向一致。

GMR 元件用于例如地磁传感器这样的磁传感器。在这种应用中,即使当 GMR 元件暴露于强磁场或高温时,它的固定层必须具有稳定的磁化。如果固定层的磁化变化,GMR 元件的电阻特性将会改变。为了达到该要求,已研制出了一种 GMR 元件(所谓的合成自旋阀膜),其中传统的固定层由多膜层叠固定层代替。

多膜层叠固定层的被钉扎层包括邻近隔离层的第一铁磁膜;层叠在第一铁磁膜上的第二铁磁膜;以及夹在第一铁磁膜和第二铁磁膜之间的交换耦合膜。多膜层叠固定层的钉扎层由反铁磁体制成,并层叠在第二铁磁层上。钉扎层与第二铁磁层交换耦合,从而在一固定方向上钉扎第二铁磁膜的磁化。第一铁磁膜和第二铁磁膜通过交换耦合膜相互交换耦合,由此将第一铁磁膜的磁化钉扎在一固定方向上(例如,参考日本专利 No.2786601(0016 段至 0024 段、及图 5))。

同时,采用 GMR 元件并适于检测外部磁场的方向的磁传感器(例如地

磁传感器), 需要不同磁检测方向的至少两个 GMR 元件。外部磁场的方向与两个磁场矢量的合成矢量的方向一致, 其中该两个矢量分别由两个 GMR 元件检测, 并分别与两个 GMR 元件的磁检测方向排成直线。这种磁传感器被称为双轴磁传感器。

为了钉扎合成自旋阀膜的被钉扎层的磁化, 必须执行一个步骤, 其中当在其上施加非常强的磁场时, 元件膜在高温下被保持预定的时间段(热处理工序)。因此, 为了减小采用合成自旋阀膜的磁检测方向不同的两个 GMR 元件的双轴磁传感器的尺寸, 必须在紧邻的位置处产生方向互不相同(例如方向互相垂直)的两个强磁场。然而, 这种磁场的产生是非常困难的。结果, 采用合成自旋阀膜的小尺寸双轴磁传感器在大规模生产上遭遇困难。

发明内容

本发明的目的是提供一种制造磁传感器的方法, 其使得使用合成自旋阀膜的小尺寸双轴磁传感器的大规模生产成为可能; 提供一种适于该方法的磁体阵列; 以及提供一种制造该磁体阵列的方法。

本发明的制造方法适于制造采用巨磁电阻元件(GMR 元件)的磁传感器, 该巨磁电阻元件具有合成自旋阀膜。GMR 元件包含: 固定层, 包括被钉扎层、以及用于在固定方向上钉扎被钉扎层的磁化的钉扎层; 磁化方向根据外部磁场变化的自由层; 以及位于被钉扎层和自由层之间的且由非磁性的电导体制成隔离层。

固定层是多膜层叠固定层, 其被构造为:

被钉扎层包括邻近隔离层的第一铁磁膜、层叠在第一铁磁膜上的第二铁磁膜、以及夹在第一铁磁膜和第二铁磁膜之间的交换耦合膜;

钉扎层包含交换偏置膜, 其由反铁磁体制成, 邻近第二铁磁膜设置在与交换耦合膜相反的一侧, 并适于通过与第二铁磁膜交换耦合来在固定方向上钉扎第二铁磁膜的磁化; 以及

第一铁磁膜和第二铁磁膜通过交换耦合膜互相交换耦合。

在由本发明的方法制造的磁传感器中, 至少两个这样的 GMR 元件布置在基板上, 并且 GMR 元件的被钉扎层的磁化方向基本上相互垂直。

本发明的用于制造如此构造的磁传感器的方法包括步骤:

(1)准备一磁体阵列;

(2)制造具有将成为 GMR 元件的元件膜的晶片；以及

(3)在各个固定方向上钉扎将成为固定层的膜的磁化。

(1)准备磁体阵列的步骤按以下方式执行：

准备包括多个永磁体和由磁性材料制成的薄板磁轭的磁体阵列，每个永磁体具有基本为长方体的形状，该长方体具有垂直于其轴线截取的基本为正方形形状的截面，并且每个永磁体具有在垂直于轴线的其相应的对立端面上形成的磁极，所述端面具有基本正方形的形状；

所述多个永磁体以一方式设置，使得其基本正方形的端面的每个的重心与四方格子的格点一致，设置在四方格子的相同格线上的永磁体使得某个永磁体的端面的一边基本上与另一永磁体的端面的一边对齐，所述多个永磁体的端面基本上位于相同的平面上，并且在两个邻近的、最靠近的永磁体的端面上产生的磁极在极性上不同；以及

磁轭具有按照与所设置的永磁体基本相同的方式布置的多个通孔，每个通孔包括一正方形部分和多个矩形部分，其中正方形部分具有与永磁体的基本正方形的截面基本相同的形状，每个矩形部分沿正方形部分（正方形）的一边的中心部分(central portion)形成并将该中心部分作为其长边；所述多个永磁体通过所述多个通孔的相应正方形部分插入；并且所述多个永磁体的端面所在的平面位于磁轭的上表面和下表面之间。

当平视磁体阵列时，向右的磁场从某 N 极向位于该 N 极右侧的 S 极产生；向上的磁场从该 N 极向位于该 N 极上侧的 S 极产生；向左的磁场从该 N 极向位于该 N 极左侧的 S 极产生；向下的磁场从该 N 极向位于该 N 极下侧的 S 极产生。类似地，从位于某 S 极右侧的 N 极向该 S 极产生向左的磁场；从位于该 S 极上侧的 N 极向该 S 极产生一向下的磁场；从位于该 S 极左侧的 N 极向该 S 极产生一向右的磁场；从位于该 S 极下侧的 N 极向该 S 极产生一向上的磁场。与磁场相关的磁力线沿磁轭、穿过磁轭的矩形部分、以及沿该矩形部分的邻近区域经过。因此，在磁轭的相邻矩形部分处、以及矩形部分直接上方(immediately above)部分处产生相互正交的、非常强的磁场。

(2)制造具有将要成为 GMR 元件的元件膜的晶片的步骤按以下方式执行：

制造晶片，其中在基板上形成元件膜，每个元件膜包括将成为固定层的

膜、将成为隔离层的膜、以及将成为自由层的膜。

在这种情况下，晶片可如下制造：在基板上布置至少两个岛状元件膜，每个膜包括将成为固定层的膜、将成为隔离层的膜、以及将成为自由层的膜；平视时，所述至少两个元件膜形成来使得，当一元件膜在相应于沿着磁体阵列的某正方形部分的某边形成的某矩形部分的位置布置（即在其内部布置）时，则另一元件膜在相应于沿着邻近该正方形部分的前述边的该正方形部分的一边形成的另一矩形部分的位置布置（即在其内布置）。

(3)分别在各个固定方向上钉扎将成为固定层的膜的磁化的步骤，按照以下方式执行：

其上形成有元件膜的晶片邻近磁体阵列布置，使得晶片的平面平行于磁轭的平面，因此将磁轭的矩形部分附近（在该处和/或周围）产生的磁场施加到晶片上，并将晶片保持在高温下，借此同时对将要成为固定层的膜进行一固定方向上的磁化钉扎。

在于晶片上形成至少两个岛状的元件膜的情况下，借助于将晶片布置在磁体阵列附近，使得平视时，当一元件膜在相应于沿着磁体阵列的某正方形部分的某边形成的某矩形部分的位置布置（即在其内部布置）时，另一元件膜在相应于沿着邻近该正方形部分的前述边的该正方形部分的一边形成的另一矩形部分的位置布置（即在其内布置），邻近（在和/或围绕）磁体阵列的矩形部分产生的磁场被施加到元件膜。元件膜被保持在高温下，从而同时在各个固定方向上钉扎元件膜的将成为固定层的膜的磁化。

如上所述，在磁体阵列的磁轭的相邻矩形部分处和矩形部分附近（直接上方）的部分处产生相互正交的、非常强的磁场。因此，在两个相邻的元件膜上施加强磁场，从而可以可靠地钉扎元件膜的合成自旋阀膜的被钉扎层的磁化。而且，可形成一个双轴磁传感器，其中至少两个 GMR 元件相互非常靠近地设置在相同基板上，并且 GMR 元件的合成自旋阀膜的被钉扎层的磁化方向互相垂直。而且，通过利用以上所述的磁体阵列，对于单一晶片上形成的多个元件膜的被钉扎层，能同时（在相同的热处理过程中）执行对磁化的钉扎，从而产生两个或更多个（大量的）双轴磁传感器。因此，能够以低成本来制造双轴磁传感器。

根据本发明的磁体阵列用在上述制造磁传感器的方法中。优选地，在平视的磁体阵列的磁轭中，在以下位置形成开口，在该位置处，通过连接四方

格子的格点形成的正方形的重心位于相应的开口内(即每个开口被形成为围绕通过连接四方格子的相邻格点形成的正方形的重心)。开口可以基本上为圆形。

形成开口的位置是自永磁体的磁极延伸(或发生)的磁力线相交的位置,具有磁场的不稳定性。在这样的位置形成开口防止了磁力线的交叉,因此消除了磁场的不稳定性。因此,可在磁轭的每个矩形部分内局部地产生稳定的、强的、一致的磁场。结果,磁体阵列的使用例如允许将成为固定层的膜的磁化的有效钉扎、以及磁传感器的偏置磁体膜的有效磁化。

优选地,如平视那样,磁轭的每个通孔具有边缘部分,该边缘部分基本为圆弧形,并且以一方式形成在通孔的正方形部分的相应角落处从而向外膨胀。

在通过例如蚀刻在磁轭中形成方形通孔的情形下,不充分蚀刻导致正方形通孔具有圆角,可能导致永磁体不能通过相应的通孔插入的问题。相反,在上述磁轭的制造中,边缘部分也被蚀刻,这样永磁体能可靠地通过相应的通孔插入。

以上提到的磁体阵列包含由薄板构成的阵列基板、排列在阵列基板上的多个永磁体、以及设置在多个永磁体的上部并由磁性材料的薄板构成的磁轭。磁体阵列可通过包括以下步骤的方法制造:

通过按预定四方格子阵列在薄板上形成多个凹槽来准备阵列基板,每个凹槽具有预定的深度和在形状上基本与永磁体的端面相同的正方形形状;

通过按预定的四方格子阵列在磁性材料的薄板中形成多个通孔来准备磁轭,每个通孔包含正方形部分和矩形部分,该正方形部分在形状上具有与阵列基板的凹槽基本相同的正方形形状,每个该矩形部分沿着正方形部分的一边的中心部分延伸,并使该中心部分作为其长边;

在阵列基板上在凹槽的两邻近的平行线之间布置每个棱镜状(棱柱)隔离物;

以一方式在所述隔离物上设置该磁轭,使得在平视时,阵列基板的该多个凹槽与磁轭的相应的通孔对齐;

以一方式经过磁轭的相应的通孔将多个永磁体插入阵列基板的相应凹槽,使得永磁体的下端面邻接凹槽的相应底面,每个永磁体具有基本为长方体的形状,该长方体具有垂直于其轴线截取的呈正方形的横截面(正方形横

截面), 该正方形形状在形状上与阵列基板的凹槽和磁轨的通孔的正方形部分基本相同, 每个永磁体具有在具有正方形形状的其相应的对立端面上产生的磁极;

抬升磁轨, 直至永磁体的上端面所在的平面位于磁轨的上表面和下表面之间; 以及

移去隔离物。

优选地, 准备磁轨的步骤包括步骤: 在平视时通过连接四方格子的格点形成的正方形的重心所在的位置, 在薄板中形成开口。

优选地, 在抬高磁轨的步骤中, 通过在开口处用工具保持磁轨来抬高磁轨。

附图说明

通过结合附图参考以下优选实施例的详细描述, 在更好的理解本发明的目的、特征和很多随之而来的优势时, 就能容易的理解本发明其它不同的目的、特征和很多随之而来的优势, 其中:

图 1 所示为本发明磁传感器 (N 型) 实施例的俯视图;

图 2 所示为本发明另一磁传感器 (S 型) 实施例的俯视图;

图 3A 所示为图 1 所示的第一 X 轴 GMR 元件的放大示意性的俯视图;

图 3B 所示为沿着图 3A 中的 1-1 线获取的第一 X 轴 GMR 元件的示意性的截面图;

图 4 所示为图 3 所示的第一 X 轴 GMR 元件的膜结构 (合成自旋阀膜 SAF 的结构) 图;

图 5 为曲线图, 示出在 X 轴方向上变化的磁场中由实线表示的图 1 所示第一 X 轴 GMR 元件的电阻变化, 以及在 Y 轴方向上变化的磁场中由虚线表示的电阻变化;

图 6A 为包括在图 1 所示的磁传感器内的 X 轴磁传感器的等效电路图;

图 6B 为曲线图, 示出存在 X 轴方向上变化的磁场时, 图 6A 的 X 轴磁传感器的输出变化;

图 7 为俯视图, 示出用来钉扎图 1 和 2 所示磁传感器的被钉扎层的磁化方向的磁体阵列;

图 8 为局部剖视图, 示出图 7 的磁体阵列;

图 9 为俯视图，示出图 7 的磁体阵列的磁轭；

图 10 为示出图 9 的磁轭的放大局部俯视图；

图 11 为沿图 10 的线 2-2 截取的磁轭的剖视图；

图 12 为俯视图，示出在图 9 的磁轭中形成的通孔；

图 13 为局部剖视图，示出图 7 的磁体阵列的阵列基板；

图 14 为示出图 7 的磁体阵列的阵列基板的俯视图；

图 15 为剖视图，示出用于形成图 13 的阵列基板的薄板；

图 16 为示出图 7 的磁体阵列的制造中的步骤的示意图；

图 17 为示意图，示出图 7 的磁体阵列的制造中的另一步骤；

图 18 为示意图，示出图 7 的磁体阵列的制造中的另一步骤；

图 19 为示意图，示出图 7 的磁体阵列的制造中的另一步骤；

图 20 为示出图 7 的磁体阵列的局部剖视图，用于解释由磁体阵列产生的磁场；

图 21 为示出图 7 的磁体阵列的俯视图，用于解释由磁体阵列产生的磁场；

图 22 为示出晶片的局部俯视图，图 1 和 2 的磁传感器由该晶片制造；

图 23 为示出磁体阵列和晶片的局部剖视图，表示在各个固定方向上钉扎图 1 和 2 的磁传感器的 GMR 元件的被钉扎层的磁化的方法；

图 24 为概念示意图，示出在各个固定方向上钉扎图 1 和 2 的磁传感器的 GMR 元件的被钉扎层的磁化的方法；

图 25 为曲线图，示出针对传统自旋阀膜、以及通过本发明方法制造的合成自旋阀膜的退火温度和交换耦合磁场之间关系的研究结果；

图 26 为曲线图，示出关于传统自旋阀膜、以及通过本发明方法制造的合成自旋阀膜的退火温度和 MR 比率之间的关系的研究结果；

图 27 为示出用于晶片上的磁传感器的定位栅格的概念视图；

图 28 为示出用于晶片上的磁传感器的定位栅格的概念视图；

图 29 为曲线图，示出位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置、并用图 7 的磁体阵列制造的 X 轴磁传感器的输出电压特性；

图 30 为曲线图，示出位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置、并用通过从图 7 的磁体阵列去除磁轭准备的磁体阵列制造的 X 轴磁传感器的输出电压特性；

图 31 为曲线图，示出位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置、并用图 7 的磁体阵列制造的 Y 轴磁传感器的输出电压特性；

图 32 为曲线图，示出位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置、并用通过从图 7 的磁体阵列去除磁轭准备的磁体阵列制造的 Y 轴磁传感器的输出电压特性；

图 33 为显示 X 轴磁传感器的灵敏度的图表，所述传感器位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置，并采用图 7 的磁体阵列制造；

图 34 为显示 X 轴磁传感器的灵敏度的图表，所述传感器位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置，并采用通过从图 7 的磁体阵列移去磁轭制备的磁体阵列来制造；

图 35 为示出 X 轴磁传感器的灵敏度的图表，所述传感器位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置，并采用图 7 的磁体阵列制造；

图 36 为显示 X 轴磁传感器的灵敏度的图表，所述传感器位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置，并采用通过从图 7 的磁体阵列移去磁轭制备的磁体阵列来制造；

图 37 为示出 Y 轴磁传感器的灵敏度的图表，所述传感器位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置，并采用图 7 的磁体阵列制造；

图 38 为显示 Y 轴磁传感器的灵敏度的图表，所述传感器位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置，并采用通过从图 7 的磁体阵列移去磁轭制备的磁体阵列来制造；

图 39 为示出 Y 轴磁传感器的灵敏度的图表，所述传感器位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置，并采用图 7 的磁体阵列制造；

图 40 为显示 Y 轴磁传感器的灵敏度的图表，所述传感器位于图 27 和 28 的晶片上的不同位置，并采用通过从图 7 的磁体阵列移去磁轭制备的磁体阵列来制造；

图 41 为示出根据本发明的另一磁传感器的实施例的俯视图；

图 42 为示出传统自旋阀膜的结构图示；

图 43 为曲线图，示出其上施加强磁场之后所观察到的图 41 的磁传感器的输出的变化；以及

图 44 为曲线图，示出其上施加强磁场之后观察到的传统磁传感器的输出的变化，该传感器的元件设置与图 41 的相似，并采用图 42 的自旋阀膜。

具体实施方式

以下将参考附图详细描述本发明的实施例。首先将描述本发明磁传感器的一个实施例。磁传感器划分为图 1 所示的 N 型磁传感器 10 和图 2 所示的 S 型磁传感器 30。N 型和 S 型磁传感器 10 和 30 通过将在以下描述的制造方法来制造。

除了图 1 和 2 的黑色实心箭头代表的被钉扎层的固定磁化方向、以及图 1 和 2 的空白箭头代表的初始状态（不存在外部磁场的状态）下的自由层的磁化方向外，N 型磁传感器 10 和 S 型磁传感器 30 采用基本相同的形状和结构。因此，以下主要讨论 N 型磁传感器 10。

如图 1 所示，磁传感器 10 包括单一基板（单块芯片）10a 和形成在基板 10a 上（或之上、上方）的 8 个 GMR 元件 11 到 14、以及 21 到 24。基板 10a 由石英玻璃制成。基板 10a 是一薄板，平视时，其呈现出具有沿互相正交的 X 轴和 Y 轴延伸的边的矩形形状（基本为正方形形状），其沿垂直于 X 和 Y 轴的 Z 轴具有小的厚度。

除在基板 10a 上的布置之外，GMR 元件 11 到 14、以及 21 到 24 具有基本相同的结构。因此，将代表性地描述第一 X 轴 GMR 元件 11 的结构。

如作为第一 X 轴 GMR 元件 11 的俯视图的图 3A 和作为沿着图 3A 的线 1-1 截取的第一 X 轴 GMR 元件 11 的示意性剖视图的图 3B 所示，第一 X 轴 GMR 元件 11 包括在 Y 轴上延伸的多个窄条部分 11a 和在窄条部分 11a 的纵向相对端部（关于 Y 轴的相对端部）下面形成的多个偏置磁体膜(bias magnet film)11b。

窄条部分 11a 由合成自旋阀膜 SAF 形成，其构成具有多膜层叠固定层的磁电阻元件。偏置磁体膜 11b 由具有高矫顽磁力(coercive force)和高剩磁率的硬铁磁材料制成，例如 CoCrPt，并且被磁化成永磁体膜。窄条部分 11a 在偏置磁体膜 11b 的上表面与偏置磁体膜 11b 磁耦合。

图 4 示出第一 X 轴 GMR 元件 11 的合成自旋阀膜 SAF。第一 X 轴 GMR 元件 11 的合成自旋阀膜 SAF 包括：形成在基板 10a 上的电介质层 10b（包括布线层）；形成在电介质层 10b 上的自由层 F；形成在自由层 F 上的隔离层 S；形成在隔离层 S 上的固定层 P；以及形成在固定层 P 上的盖层 C。用于磁传感器 10 的元件，如晶体管和存储器等，形成在基板 10a 内或其上。

布线层包括在电介质层 10b 内。布线层连接元件、焊盘和 GMR 元件等，从而形成传感器 10。通过焊接到焊盘上表面的 Au 线，焊盘将磁传感器 10 与外部设备连接。布线层可称为导线。基板 10a 和电介质层 10b 合在一起可被称为“基底”，因为 GMR 元件 11 到 14、以及 21 到 24 形成于其上。

自由层 F 的磁化方向根据外部磁场的方向而变化。自由层 F 包括：形成在基底（电介质层 10b）上且具有 8nm（80 埃）厚度的 CoZrNb 非晶磁层 11-1；形成在 CoZrNb 非晶磁层 11-1 上且具有 3.3nm（33 埃）厚度的 NiFe 磁层 11-2；以及形成在 NiFe 磁层 11-2 上且具有约 1nm 到 3nm（10 埃到 30 埃）厚度的 CoFe 层 11-3。CoZrNb 非晶磁层 11-1 和 NiFe 磁层 11-2 构成软铁磁膜。CoFe 层 11-3 防止来自 NiFe 层 11-2 的 Ni 的扩散和来自隔离层 S 的 Cu 层 11-4 的 Cu 的扩散。

隔离层 S 是由 Cu 制成并具有 2.4nm（24 埃）厚度的电导膜。

固定层（磁化固定层或者钉扎层）P 包括：由 CoFe 制成且厚度为 2.5nm（25 埃）的第一铁磁膜 11-5；层叠在第一铁磁膜 11-5 上、由 Ru 制成、且厚度为 0.8nm 至 0.9nm（8 埃至 9 埃）的交换耦合膜 11-6；层叠在交换耦合膜 11-6 上、由 CoFe 制成、且厚度为 2.2nm（22 埃）的第二铁磁膜 11-7；以及层叠在第二铁磁膜 11-7 上、厚度为 24nm（240 埃）且由 Pt 含量为 45mol% 至 55mol% 的 PtMn 合金制成的交换偏置膜（反铁磁膜）11-8。

如以上所述，交换耦合膜 11-6 夹在第一铁磁膜 11-5 和第二铁磁膜 11-7 之间。第一铁磁膜 11-5、交换耦合膜 11-6、以及第二铁磁膜 11-7 构成其磁化被钉扎在一固定方向上的被钉扎层，从而磁化方向不会随外部磁场的变化而变化。交换偏置膜 11-8 是用于将被钉扎层的磁化钉扎在一固定方向上的钉扎层。

当层叠有膜 11-5 至 11-8 的元件经历有序化热处理（一种热处理工艺）- 其中在预定的高温对元件施加预定时间段的预定的强磁场 - 时，交换偏置膜 11-8 与第二铁磁膜 11-7 交换耦合，从而将第二铁磁膜 11-7 的磁化（磁化矢量）钉扎在一固定方向上。通过交换耦合膜 11-6，第一铁磁膜 11-5 和第二铁磁膜 11-7 互相交换耦合。结果，第一铁磁膜 11-5 的磁化被钉扎在一固定方向上。要注意的是，第一铁磁膜 11-5 的磁化方向和第二铁磁膜 11-7 的磁化方向相互反平行。例如，在图 1 中，当在进行有序化热处理同时将磁场的方向设置在 X 轴的正向时，第一 X 轴 GMR 元件 11 的第一铁磁膜 11-5 的

磁化被钉扎在 X 轴的负方向上。第一铁磁膜 11-5 的磁化方向就是第一 X 轴 GMR 元件的被钉扎层的磁化被钉扎的方向。

盖层 C 具有 1.5nm (15 埃) 的厚度, 并由钛(Ti)或钽(Ta)制成。

为了保持自由层 F 的单轴各向异性, 图 3A 和 3B 所示的偏置磁体膜 11b 在自由层 F 的纵向上向自由层 F 施加偏置磁场。在第一 X 轴 GMR 元件 11 中, 偏置磁体膜 11b 在 Y 轴的负方向上施加偏置磁场。

如此构造的第一 X 轴 GMR 元件 11 具有以下特性。如图 5 的实线所示, 在存在沿 X 轴变化的外部磁场时, 第一 X 轴 GMR 元件 11 的电阻在 $-H_c$ 至 $+H_c$ 的范围内基本上与外部磁场成比例地变化。如图 5 的虚线所示, 在存在沿 Y 轴变化的外部磁场时, 第一 X 轴 GMR 的电阻基本上恒定。换句话说, 第一 X 轴 GMR 元件 11 检测被钉扎层的磁化被钉扎的方向上的磁场。

第一 X 轴 GMR 元件 11 形成在基板 10a 上一位置处, 该位置位于关于基板 10a 的中心部分朝向 Y 轴负方向的一侧、并位于关于 X 轴的负方向的基板 10a 的边缘部分附近。如上所述, 第一 X 轴 GMR 元件 11 的被钉扎层的磁化被钉扎在 X 轴的负向。第二 X 轴 GMR 元件 12 形成在基板 10a 上一位置处, 该位置位于关于基板 10a 的中心部分朝向 Y 轴正方向的一侧, 并位于关于 X 轴的负方向的基板 10a 的边缘部分附近; 第二 X 轴 GMR 元件 12 的被钉扎层的磁化被钉扎在 X 轴的负向上。第三 X 轴 GMR 元件 13 形成在基板 10a 上一位置处, 该位置位于关于基板 10a 的中心部分朝向 Y 轴正方向的一侧、且在关于 X 轴的正方向的基板 10a 的边缘部分附近; 第三 X 轴 GMR 元件 13 的被钉扎层的磁化被钉扎在 X 轴的正向。第四 X 轴 GMR 元件 14 形成在基板 10a 上一位置处, 该位置位于关于基板 10a 的中心部分朝向 Y 轴负方向的一侧、且在关于 X 轴的正方向的基板 10a 的边缘部分附近; 第四 X 轴 GMR 元件 14 的被钉扎层的磁化被钉扎在 X 轴的正向上。

第一 Y 轴 GMR 元件 21 形成在基板 10a 上一位置处, 该位置位于关于基板 10a 的中心部分朝向 X 轴负方向的一侧、且在关于 Y 轴的正方向的基板 10a 的边缘部分附近; 第一 Y 轴 GMR 元件 21 的被钉扎层的磁化被钉扎在 Y 轴的正向上。第二 Y 轴 GMR 元件 22 形成在基板 10a 上一位置处, 该位置位于关于基板 10a 的中心部分朝向 X 轴正方向的一侧、且在关于 Y 轴的正方向的基板 10a 的边缘部分附近; 第二 Y 轴 GMR 元件 22 的被钉扎层的磁化被钉扎在 Y 轴的正向。第三 Y 轴 GMR 元件 23 形成在基板 10a 上一

位置处,该位置位于关于基板 10a 的中心部分朝向 X 轴正方向的一侧、且在关于 Y 轴的负方向的基板 10a 的边缘部分附近;第三 Y 轴 GMR 元件 23 的被钉扎层的磁化被钉扎在 Y 轴的负向。第四 Y 轴 GMR 元件 24 形成在基板 10a 上一位置处,该位置位于关于基板 10a 的中心部分朝向 X 轴的负方向的一侧、且在关于 Y 轴的负方向的基板 10a 的边缘部分附近;第四 Y 轴 GMR 元件 24 的被钉扎层的磁化被钉扎在 Y 轴的负向。

接下来将描述包括 GMR 元件 11 至 14 的 X 轴磁传感器(用于检测 X 方向上的磁场的磁传感器)、以及包括 GMR 元件 21 至 24 的 Y 轴磁传感器(用于检测 Y 方向上的磁场的磁传感器)。

如图 6A 的等效电路所示, X 轴磁传感器由第一至第四 X 轴 GMR 元件 11 至 14 的借助于未示出的导体的全桥连接(full bridge connection)构成。在图 6A 中,伴随第一至第四 X 轴 GMR 元件 11 至 14 的曲线图,分别显示出与其邻近的 GMR 元件的特性(电阻 R 随外部磁场的变化)。曲线图中出现的 H_x 代表其强度沿 X 轴变化的外部磁场(外部磁场的 X 轴分量)。

在上述构造中,第一 X 轴 GMR 元件 11 和第四 X 轴 GMR 元件 14 的连接点、以及第二 X 轴 GMR 元件 12 和第三 X 轴 GMR 元件 13 的连接点分别连接至未示出的恒压电源的正极和负极(地),从而电势 +V (本实施例中为 5V) 和电势 -V (本实施例中为 0V) 施加到相应的连接点。第一 X 轴 GMR 元件 11 和第三 X 轴 GMR 元件 13 的连接点与第四 X 轴 GMR 元件 14 和第二 X 轴 GMR 元件 12 的连接点之间的电势差 V_{0x} 被获取作为传感器的输出。结果,如图 6B 所示, X 轴磁传感器输出电压 V_{0x} , 其基本与沿 X 轴变化的外部磁场 H_x 成比例,并随外部磁场 H_x 增加而减小。

Y 轴磁传感器由第一至第四 Y 轴 GMR 元件 21 至 24 的通过未示出的导体的全桥连接构成。Y 轴磁传感器输出电压 V_{0y} , 其基本与沿 Y 轴变化的外部磁场 H_y 成比例,并随外部磁场 H_y 增加而减小。N 型磁传感器 10 如上所述构成。

同时,如图 2 所示, S 型磁传感器 30 包括 GMR 元件 31 至 34、以及 41 至 44。磁传感器 30 以与磁传感器 10 相似的方式构成,并由 X 轴磁传感器和 Y 轴磁传感器组成。

具体地,磁传感器 30 的 X 轴磁传感器由第一至第四 X 轴 GMR 元件 31 至 34 的借助未示出的导体的全桥连接构成。磁传感器 30 的 X 轴磁传感器输

出电压 V_{0x} ，其基本与外部磁场 H_x 成比例，并随外部磁场 H_x 增加而增加。磁传感器 30 的 Y 轴磁传感器由第一至第四 Y 轴 GMR 元件 41 至 44 的经由未示出的导体的全桥连接构成。磁传感器 30 的 Y 轴磁传感器输出电压 V_{0y} ，其基本与外部磁场 H_y 成比例，并随外部磁场 H_y 增加而增加。

接下来，将描述根据本发明的磁体阵列 50 的一实施例。磁体阵列 50 用于在各个固定方向上钉扎磁传感器 10 和 30 的固定层 P 的被钉扎层的磁化。如图 7 和 8 所示，磁体阵列 50 包括磁轭（磁轭板）60、阵列基板 70、以及多个永磁体（永久条形磁体）80。

图 9 至 11 示出了磁轭 60。图 9 为磁轭 60 的俯视图；图 10 为图 9 的放大的局部视图；图 11 为沿图 10 的线 2-2 截取的磁轭 60 的剖视图。磁轭 60 为由磁导率高于空气的磁导率的磁性材料制成的薄板构件，该磁性材料例如为 42 合金（包括 42wt% 的 Ni 的 Fe-42Ni 合金）。磁轭 60 可由高饱和度、高磁导率材料制成，例如坡莫合金或硅钢（片）。

平视时，磁轭 60 呈现为矩形。在本实施例中，磁轭 60 具有 0.15mm 的厚度。磁轭 60 包括多个通孔 61 和多个开口（磁通控制孔）62。如图 12 的放大视图所示，每个通孔 61 包括单独的正方形部分 61a、四个矩形部分 61b、以及四个边缘部分（圆弧部分或 R 部分）61c。

平视时正方形部分 61a 具有正方形形状。每个矩形部分 61b 具有矩形形状，该矩形形状沿正方形部分 61a 的一边的中心部分形成从而向正方形部分 61a 的外部膨胀，并使该中心部分作为其长边（也就是，中心部分形成矩形形状的一条长边）。每个边缘部分 61c 从正方形部分 61a 的相应的角落部分向正方形部分 61a 的外部膨胀。更具体地，每个边缘部分 61c 呈现为圆弧形状，其中心 RP 位于正方形部分 61a 的对角线 CR 上。

多个通孔 61 设置成四方格子阵列。换句话说，每个通孔 61 的重心（每个正方形部分 61a 的重心）与图 10 示出的四方格子的格点 SP 重合。某一通孔 61 的正方形部分 61a 的一边平行于邻近的通孔 61 的正方形部分 61a 的一边。某通孔 61 的正方形部分 61a 的一边与在该某通孔 61 相同的列或行中形成的另一通孔 61 的正方形部分 61a 的一边排成直线。类似地，某通孔 61 的矩形部分 61b 的一边与在该某通孔 61 相同的列或行中形成的另一通孔 61 的矩形部分 61b 的一边排成直线。

开口 62 形成在如下位置，在该位置，通过连接四方格子的格点 SP 形成

的正方形的重心 CP 位于相应的开口 62 内。即，每个开口 62 被形成来围绕通过连接四方格子的临近的格点 SP 形成的正方形的重心 CP。更具体地，在平视时，每个开口 62 是圆形通孔，其圆心位于重心 CP。

图 13 和 14 所示的阵列基板 70 由图 15 所示的磁性材料（例如，如 42 合金这样的坡莫合金）的薄板 70a 形成。在平视时，阵列基板 70 在形状上具有与磁轭 60 基本相同的矩形形状。阵列基板 70 包括多个凹槽 70b。平视时，多个凹槽 70b 位于与磁轭 60 的通孔 61 的相应正方形部分 61a 相同的位置。每个凹槽 70b 在形状上具有与通孔 61 的正方形部分 61a 基本相同的正方形形状。

每个永久条形磁体 80 具有长方体的形状。由垂直于长方体一个中心轴（例如长方体的相对较长的轴）的平面截开的长方体的横截面在形状上具有与通孔 61 的正方形部分 61a 和阵列基板 70 的凹槽 70b 基本相同的正方形形状。每个永久条形磁体 80 具有在其相应的相对端面附近产生的磁极，其中该相对端面具有正方形形状。所述多个永久条形磁体 80 具有基本相同的磁荷(magnetic charge)。永久条形磁体 80 插入到阵列基板 70 的相应的凹槽 70b 内，并穿过磁轭 60 的相应的正方形部分 61a，从而被保持在适当位置。永久条形磁体 80 被设置来使得两个邻近的、最靠近的永久条形磁体 80 在它们的端面上产生的磁极之间的极性上不同（即两个邻近的、最靠近的永磁体的端面上产生的磁极在极性上不同）。

对磁体阵列 50 的以上描述可总结如下。磁体阵列 50 包括多个永久条形磁体 80 和由磁性材料制成的薄板磁轭 60。每个永久条形磁体 80 具有基本为长方体的形状。该长方体具有垂直于其轴截取的基本为正方形形状的横截面。每个永久条形磁体 80 具有在其相应的对立端面上产生的磁极，其中该端面垂直于该轴具有基本上正方形形状。

多个永久条形磁体 80 以一方式设置，使得其每个基本为正方形的端面的重心与四方格子的格点 SP 重合，并且设置在四方格子的相同格线上的永久条形磁体 80 使得某永久条形磁体 80 的端面的一边与另一永久条形磁体 80 的端面的一边基本上排成直线。而且，该多个永久条形磁体 80 以一方式设置，使得其端面基本出现在相同的平面上，并且两个邻近的、最靠近的永久条形磁体 80 的端面上产生的磁极在极性上不同。

磁轭 60 具有的多个通孔 61 基本按与所布置的永久条形磁体 80 相同的

方式布置。每个通孔 61 包括正方形部分 61a 和矩形部分 61b, 其中正方形部分具有与永久条形磁体 80 的横截面的基本上正方形形状基本相同的形状, 且每个矩形部分沿着正方形部分 61a 的一边的中心部分形成, 并使该中心部分作为其长边。该多个永久条形磁体 80 穿过该多个通孔 61 的相应正方形部分 61a 插入。永久条形磁体 80 的端面所在的平面位于磁轭 60 的上表面和下表面之间。

接下来将描述制造磁体阵列 50 的方法。首先, 准备用于形成磁轭 60 的板。在板上进行蚀刻, 从而形成通孔 61 和开口 62。接下来, 准备用于形成阵列基板 70 的薄板 70a (见图 15)。在薄板 70a 上进行蚀刻 (半蚀刻), 由此形成凹槽 70b (见图 13 和 14)。

接下来, 如图 16 的透视图和图 17 的剖视图所示, 玻璃制成的棱镜状 (棱柱形) 隔离物 90 设在阵列基板 70 上。设置在阵列基板 70 上的每个隔离物 90 位于凹槽 70b 的两条相邻平行线之间。在如此设置的隔离物 90 中, 隔离物 90 在 Z 轴上的长度短于永久条形磁体 80 的其上形成磁极的对立端面之间的长度。

随后, 将磁轭 60 放置在隔离物 90 上。在这种情况下, 磁轭 60 以一方式设置, 使得平视时阵列基板 70 的凹槽 70b 与磁轭 60 的通孔 61 的相应的正方形部分 61a 对齐。为了使设置工作变得容易, 在磁轭 60 上和阵列基板 70 上可提供定位标记 (对准标记)。注意, 在图 16 中省略了边缘部分 61c。

接下来, 如图 17 所示, 永久条形磁体 80 穿过相应的通孔 61 插入。该插入工作以一方式进行, 使得永久条形磁体 80 的极化的第一侧端面邻接阵列基板 70 的凹槽 70b 的相应底面。结果, 永久条形磁体 80 的极化的第二侧端面 (为方便起见以下可被称为“上表面”) 基本在相同的平面出现 (在相同平面上)。而且, 永久条形磁体 80 被布置来使得, 如在包括永久条形磁体 80 的上表面的平面上观察到的那样, 产生在两个邻近的、最靠近的永磁体 80 的端面上的磁极在极性上不同。

结果, 永久条形磁体 80 的设置如图 18 所示。在这种状态下, 因为永久条形磁体 80 插入在凹槽 70b 和磁轭 60 的通孔 61 的正方形部分 61a 内, 所以阻止了永久条形磁体 80 在 X 轴和 Y 轴方向上的移动。

接下来, 借助于利用开口 62 来抬高 (在 Z 轴的正向上) 磁轭 60。具体地, 磁轭 60 在通过采用镊子在两个开口 62 处被夹持的同时被抬高。通过利

用其它开口 62 重复执行此抬高工作，从而逐渐抬高整个磁轨 60。

如图 19 所示，磁轨 60 的高度（阵列基板 70 与磁轨 60 之间的距离）被调整，从而由永久条形磁体 80 的上表面（永久条形磁体 80 的极化的第二侧端面）定义的平面位于磁轨 60 的上表面 60up 和下表面 60dn 之间。换句话说，抬高磁轨 60，使得永久条形磁体 80 的上表面位于磁轨 60 的厚度范围之内。值得注意的是，磁轨 60 的上表面 60up 和由永久条形磁体 80 的上表面定义的平面可在相同平面上。随后，移去隔离物 90，并相对于阵列基板 70 固定磁轨 60。于是完成了磁体阵列 50。

如图 20 的局部放大剖视图和图 21 的局部放大俯视图所示，在如此制造的磁体阵列 50 中，在永久条形磁体 80 的上表面（极化的第二侧端面）附近，磁场从 N 极向邻近并最靠近各 N 极的 S 极产生。

换句话说，当如图 21 所示地平视磁体阵列 50 时，从某一 N 极向位于该 N 极右侧的 S 极形成一向右的磁场；从该 N 极向位于该 N 极上侧的 S 极产生一向上的磁场；从该 N 极向位于该 N 极左侧的 S 极产生一向左的磁场；且从该 N 极向位于该 N 极下侧的 S 极产生一向下的磁场。类似地，从位于某一 S 极右侧的 N 极向该 S 极产生一向左的磁场；从位于该 S 极上侧的 N 极向该 S 极产生一向下的磁场；从位于该 S 极左侧的 N 极向该 S 极产生一向右的磁场；以及从位于该 S 极下侧的 N 极向该 S 极产生一向上的磁场。与所述磁场相关的磁力线沿磁轨 60、穿过磁轨 60 的矩形部分 61b、以及在矩形部分 61b 的直接上方经过。因此，当注意某一正方形部分 61a 时，在与该正方形部分 61a 相关的相邻的矩形部分 61b 的直接上方的部分处（即在沿该正方形部分 61a 的边形成的矩形部分 61b 的直接上方的部分处，其在正方形部分 61a 中彼此相邻）局部地产生互相正交的、非常强的磁场。

此外，磁体阵列 50 具有开口 62。如已经参考图 10 所述的那样，开口 62 形成在正方形的重心 CP 所在的位置处，其中该正方形通过连接四方格子的格点 SP 所形成，即通过连接磁轨 60 的通孔 61（正方形部分 61a）的重心形成。即，每个开口 62 被形成来使得围绕由连接四方格子的相邻格点 SP 形成的正方形的重心 CP。开口 62 所形成的位置是自永久条形磁体 80 的磁极延伸（产生）的磁力线交叉的位置，结果是磁场不稳定。在所述位置形成开口 62 防止了磁力线的交叉，从而消除了磁场的不稳定性。这样，稳定的、强的、一致的磁场可在矩形部分 61b 中和在矩形部分 61b 的直接上方的部分

处局部地产生。

接下来，将描述制造磁传感器 10(30)的方法。

首先，在图 22 所示的晶片（石英玻璃或 Si 基板）10a1 上形成图 3(B) 和 4 所示的电介质层 10b。此时，形成预定的布线、大规模集成电路(LSI)、以及未示出的用于预置自由层 F 的线圈。晶片 10a1 在以后的步骤中被沿着由图 22 的虚线所表示的切割线 CL 切割，由此产生基板 10a 和 30a。

其次，形成多个膜（元件膜）M，其将成为 GMR 元件 11 到 14、21 到 24、31 到 34、以及 41 到 44。具体地，形成要成为偏置磁体膜 11b 的膜。然后在膜 11b 上形成将成为合成自旋阀膜 SAF 的膜，每个膜包括成为固定层的膜、成为隔离层的膜、以及成为自由层的膜。此膜沉积工艺通过使用超高真空装置来进行，从而以精确控制的各个厚度连续层叠组成膜。

构图所述膜，从而形成多个岛状膜 M，每个岛状膜具有与窄条部分 11a 相同的形状。膜 M 将成为岛状的 GMR 元件。膜 M 以一方式形成在石英玻璃 10a1 上，使得当在以后的步骤中沿图 22 的虚线所表示的切割线 CL 切割石英玻璃 10a1，从而形成图 1 和 2 所示的磁传感器 10 和 30 时，膜 M 设置在 GMR 元件 11 到 14、21 到 24、31 到 34、以及 41 到 44 的位置处。

换句话说，根据以上所述的工艺，在基板（晶片 10a1）上布置至少两个（多个）岛状元件膜 M，每个元件膜 M 包括将成为合成自旋阀膜 SAF 的膜。在平视时，该至少两个元件膜 M 被形成来使得，当一元件膜 M 布置在与沿磁体阵列 50 的某一正方形部分 61a 的某一边形成的某一矩形部分 61b 相应的位置处（即在其内布置）时，另一元件膜 M 布置在与沿该正方形部分 61a 的邻近该正方形部分 61a 的前述边的一边形成的另一个矩形部分 61b 相应的位置处（即在其内布置）。

其次，如图 23 所示地设置晶片 10a1 和磁体阵列 50，其中在晶片 10a1 上形成有膜 M。在此布置中，晶片 10a1 的其上形成膜 M 的一侧与磁轭 60 的上表面 60up 接触。而且，如图 24 所示，晶片 10a1 和磁体阵列 50 以一关系设置，使得相应于磁传感器 10 和 30 的边的切割线 CL 的交点 CP 中的每一个，与一组四个相邻的永久条形磁体 80 的重心相重合。结果，当晶片 10a1 位于磁体阵列 50 的上表面时，如图 24 的箭头所示，磁场垂直于膜 M 的窄条部分 11a 的纵向地施加在膜 M 上。

而后，以上述关系设置的晶片 10a1 和磁体阵列 50 在真空中被加热到

250℃至280℃的温度（优选是270℃），并在该温度下被保持约3小时。

换句话说，晶片10a1设置在磁体阵列50附近，从而平视时，当一元件膜M布置在与沿磁体阵列50的某一正方形部分61a的某一边形成的某一矩形部分61b相应的位置处（即在其内布置）时，另一元件膜M布置在与沿该正方形部分61a的邻近该正方形部分61a的前述边的一边形成的另一个矩形部分61b相应的位置处（即在其内布置），磁体阵列50的矩形部分61b附近（在其直接上方的部分处）产生的磁场施加到元件膜M，并且具有元件膜M的晶片10a1被保持在高温下，从而在各个固定方向上同时钉扎多个元件膜M的将成为固定层的膜（被钉扎层）的磁化。

随后，让晶片10a1维持在不加热情况下，直至晶片10a1冷却至室温。然后，将晶片10a1从真空装置中卸下。形成用于连接膜M的布线等。最后，沿图22和24所示的切割线CL切割晶片10a1。于是，一次就制造大量图1和2所示的单片（单芯片）磁传感器10和30。

如上所述，本实施例执行热处理工序，其中强磁场通过使用磁体阵列50而局部地产生，并用于钉扎合成自旋阀膜SAF的被钉扎层的磁化方向。磁体阵列50包括磁轭60，矩形部分61b在磁轭60中形成，并用作气隙。因此，通过使用磁体阵列50，能在矩形部分61b附近的空间中产生强的、一致的磁场，从而合成自旋阀膜SAF的被钉扎层的磁化能可靠地被钉扎在各个固定方向。

而且，在磁体阵列50的磁轭60中，开口62形成在从磁极延伸的磁力线在没有该开口时将交叉的部分处，该交叉导致磁场的不稳定。结果，磁力线的方向特性变得稳定，因此邻近开口62的磁场能被更大程度地稳定。开口62也用来调节磁体阵列50的磁轭60和阵列基板70之间的距离（磁轭60的高度）。结果，因为磁轭60在高度方向上的位置能容易且理想地调节，所以优化的磁场能施加到膜所处的部分，其中该膜将成为被钉扎层，并且其磁化将被钉扎在各个固定方向上。

如以上所述，磁体阵列60在相邻区域（在相邻矩形部分61b的直接上方的部分处）内能产生互相交叉的（正交的）、强的一致磁场。因此，能容易地制造采用合成自旋阀膜SAF的双轴磁传感器，该合成自旋阀膜SAF具有优异的耐热性、相对于强磁场的优异电阻、以及好的温度特性。

另外，每个通孔61的正方形部分61a具有边缘部分61c，其以对角地向

外膨胀的方式形成在正方形部分 61a 的相应角落处。因此,即使在蚀刻通孔 61 的工序中正方形部分 61a 的角落部分未充分蚀刻,永久条形磁体 80 也能可靠地穿过相应的通孔 61 插入。

图 25 的曲线图示出关于传统自旋阀膜 SV 和以上制造的合成自旋阀膜 SAF 的退火温度 TA 和交换耦合磁场 H_{ua} 之间关系的研究结果。退火温度 TA 是一预定温度, GMR 元件保持在该温度以退火。更具体地, GMR 元件如下退火: 当在与 GMR 元件的被钉扎层的被钉扎磁化方向相反的方向上, 将预定强度(在图 25 的示例中为 100Oe)的磁场施加到 GMR 元件上的同时, 通过施加热而将 GMR 元件保持在退火温度 TA; 随后, 使 GMR 元件冷却至室温。交换耦合磁场 H_{ua} 即磁场 H, 它导致: 当在室温下在与退火后的 GMR 元件的被钉扎层的被钉扎磁化方向相反的方向上, 向退火后的 GMR 元件施加磁场 H 时, 被钉扎层的磁化方向自最初的固定磁化方向改变。

从图 25 中明显看出, 通过本实施例的方法制造的合成自旋阀膜 SAF 具有高于传统自旋阀膜 SV 的交换耦合磁场 H_{ua} 的值, 并且将交换耦合磁场 H_{ua} 维持在高水平, 直至达到与传统自旋阀膜 SV 相比更高的退火温度。

图 26 的曲线图示出了关于传统自旋阀膜 SV 和以上制造的合成自旋阀膜 SAF 的退火温度 TA 和 MR 比率之间的关系的研究结果。从图 26 明确看出, 通过本实施例的方法制造的合成自旋阀膜 SAF 具有的 MR 比率的值高于传统自旋阀膜 SV 的, 并且将 MR 比率维持在高水平, 直至达到与传统自旋阀膜 SV 相比更高的退火温度。即, 通过本实施例的方法制造的合成自旋阀膜 SAF 具有的耐热性高于传统自旋阀膜 SV。因此, 即使磁传感器 10 和 30 的制造包括高温工艺, 如形成保护膜工序(钝化处理)、或在各固定方向上钉扎合成自旋阀膜 SAF 的固定层的磁化之后的焊接工序, 也能获得具有稳定特性的磁传感器 10 和 30。

接下来, 比较两个磁传感器之间的性能, 一个磁传感器具有采用包括磁轭 60 的磁体阵列 50 制造的合成自旋阀膜 SAF(其被钉扎层使得磁化被钉扎在一固定方向上), 另一个磁传感器具有通过采用从磁体阵列 50 除去磁轭 60 得到的磁体阵列制造的合成自旋阀膜 SAF。

图 27 和 28 是示意图, 示出用于试验的磁传感器的晶片上的位置。图 27 示出了其上形成有大量膜 M 的晶片。图 28 为图 27 示出的一个正方形部分的放大图。

图 29 示出了位于图 27 所示的点位置(shot position) (X 位置, Y 位置) (3, 3)、(3, 5)、..., (7, 5)和(7, 7)中图 28 所示的芯片位置 (X 位置, Y 位置) (7, 7)处的 X 轴磁传感器的特性 (输出电压随外部磁场的变化)。X 轴磁传感器通过采用包括磁轭 60 的磁体阵列 50 制造。图 30 示出位于图 27 所示的点位置 (X 位置, Y 位置) (3, 3)、(3, 5)、..., (7, 5)和(7, 7)中图 28 所示的芯片位置 (X 位置, Y 位置) (7, 5)处的 X 轴磁传感器的特性。该 X 轴磁传感器通过采用从磁体阵列 50 去除磁轭 60 制备的磁体阵列制造。

从图 29 和 30 之间的比较明显看出, 在通过采用从磁体阵列 50 除去磁轭 60 得到的磁体阵列制造的 X 轴磁传感器中, 形成在点位置(7, 3)的 X 轴磁传感器与正常 X 轴磁传感器相比具有相反的特性曲线; 形成在点位置(3, 3)的 X 轴磁传感器呈现出差的输出特性。相反, 使用包括磁轭 60 的磁体阵列 50 制造的 X 轴磁传感器具有与点位置无关的一致性的输出特性。

图 31 示出位于图 27 所示的点位置 (X 位置, Y 位置) (3, 3)、(3, 5)、..., (7, 5)和(7, 7)中图 28 所示的芯片位置 (X 位置, Y 位置) (7, 8)处的 Y 轴磁传感器的特性。该 Y 轴磁传感器采用包括磁轭 60 的磁体阵列 50 制造。图 32 示出位于图 27 所示的点位置 (X 位置, Y 位置) (3, 3)、(3, 5)、..., (7, 5)和(7, 7)中图 28 所示的芯片位置 (X 位置, Y 位置) (7, 6)处的 Y 轴磁传感器的特性。该 Y 轴磁传感器采用从磁体阵列 50 除去磁轭 60 得到的磁体阵列制造。

从图 30 和 31 之间的比较明显看出, 在采用从磁体阵列 50 除去磁轭 60 得到的磁体阵列制造的 Y 轴磁传感器中, 形成在点位置(7, 3)的 Y 轴磁传感器与正常 Y 轴磁传感器相比, 呈现出反向的特性曲线; 形成在点位置(3, 3)的 Y 轴磁传感器呈现出差的输出特性。相反, 用包括磁轭 60 的磁体阵列 50 制造的 Y 轴磁传感器呈现出与点位置无关的一致性的输出特性。

图 33 示出了 X 轴磁传感器的灵敏度 (每单位磁场强度的输出电压变化), 其中该磁传感器位于上述点位置中的芯片位置(7, 7)处, 并且用包括磁轭 60 的磁体阵列 50 制造。图 34 示出了 X 轴磁传感器的灵敏度, 其中该磁传感器位于上述点位置中的芯片位置(7, 5)处, 并且用从磁体阵列 50 除去磁轭 60 得到的磁体阵列制造。

图 35 示出了 X 轴磁传感器的灵敏度, 其中该磁传感器位于上述点位置中的芯片位置(7, 8)处, 并且用包括磁轭 60 的磁体阵列 50 制造。图 36 示出

了 X 轴磁传感器的灵敏度, 其中该磁传感器位于上述点位置中的芯片位置(7, 6)处, 并且用通过从磁体阵列 50 除去磁轨 60 得到的磁体阵列制造。

图 37 示出了 Y 轴磁传感器的灵敏度, 其中该磁传感器位于上述点位置中的芯片位置(7, 7)处, 并且用包括磁轨 60 的磁体阵列 50 制造。图 38 示出了 Y 轴磁传感器的灵敏度, 其中该磁传感器位于上述点位置中的芯片位置(7, 5)处, 并且用通过从磁体阵列 50 除去磁轨 60 得到的磁体阵列制造。

图 39 示出了 Y 轴磁传感器的灵敏度, 其中该磁传感器位于上述点位置中的芯片位置(7, 8)处, 并且用包括磁轨 60 的磁体阵列 50 制造。图 40 示出了 Y 轴磁传感器的灵敏度, 其中该磁传感器位于上述点位置中的芯片位置(7, 6)处, 并且用通过从磁体阵列 50 除去磁轨 60 得到的磁体阵列制造。

从图 33 至 40 明确看出, 采用包括磁轨 60 的磁体阵列 50 制造的磁传感器表现出良好的灵敏度。相反, 采用不具有磁轨 60 的磁体阵列制造的磁传感器包括灵敏度差的磁传感器。这说明, 采用本发明的磁体阵列 50 制造的双轴磁传感器具有极好的耐热性和极好的输出特性。

其次, 以与上述实施例相似的方式制造了包括如图 41 所示布置的元件的磁传感器 100, 其中每个元件包括合成自旋阀膜 SAF。还制造了包括元件的磁传感器 100' (未示出), 其中所述元件以与磁传感器 100 相似的方式布置, 每个元件包括传统的自旋阀膜 (具有图 42 所示的膜结构)。

磁传感器 100 包括 GMR 元件 111 到 114、以及 GMR 元件 121 到 124。GMR 元件 111 到 114 分别相应于磁传感器 10 的 GMR 元件 11 到 14。GMR 元件 121 到 124 分别相应于磁传感器 10 的 GMR 元件 21 到 24。图 41 示出了 GMR 元件 111 到 114 以及 121 到 124 的设置、被钉扎层的磁化方向、以及无外部磁场时自由层的磁化方向。

利用磁线圈, 在 X 轴的正向和负向上向磁传感器 100 和传统磁传感器 100' 施加强度为 20、40、60、80 和 100(Oe) 的磁场。随后, 除去所施加的磁场, 并针对 X 轴和 Y 轴磁传感器的输出电压检测磁传感器 100 和 100'。结果表示在图 43 和 44 中。从图 43 和 44 的比较明显看出, 根据本发明的磁传感器 100 在其上被施加磁场之后在输出上几乎没有出现变化 (见图 43)。相反, 传统磁传感器 100' 在其上被施加磁场之后在输出上出现很大的变化 (见图 44)。这说明, 在对强磁场的耐受性方面, 根据本发明的磁传感器 100 优于传统磁传感器 100'。

也应注意到，上述磁传感器是一种传感器，其被形成来使得多个所述磁电阻效应元件（例如 GMR 元件）被设置在具有通常为正方形形状的单芯片（基板）上一平面中，所述磁电阻效应元件关于所述通常为正方形的芯片的中心线对称设置，且所述多个磁电阻效应元件中的至少两个的被钉扎层具有相互交叉的被钉扎的磁化方向（即被钉扎的磁化方向以 90 度相互交叉）。而且，也注意到，以上的磁传感器 10 包括四个所述磁电阻效应元件，其中该四个所述磁电阻效应元件通过这四个元件的全桥连接构成 X 轴或 Y 轴磁传感器，所述四个元件的被钉扎层的所述被钉扎的磁化方向相互平行。

本发明的实施例已参照用于制造磁传感器的方法、磁体阵列、以及用于制造磁体阵列的方法得以描述。然而，本发明不限于此，而是可以以许多其它不脱离本发明主旨的特殊形式体现。例如，当要采用磁体阵列 50 在各个固定方向上钉扎被钉扎层的磁化时，膜 M 不必被构图。可以在被钉扎层的磁化被钉扎在各个固定方向上之后构图膜 M。

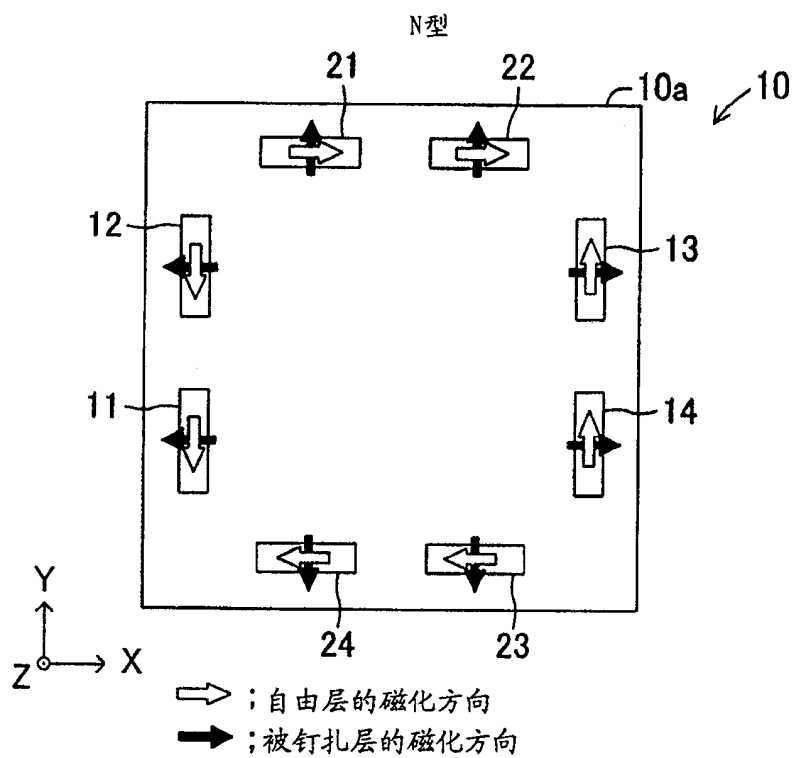


图 1

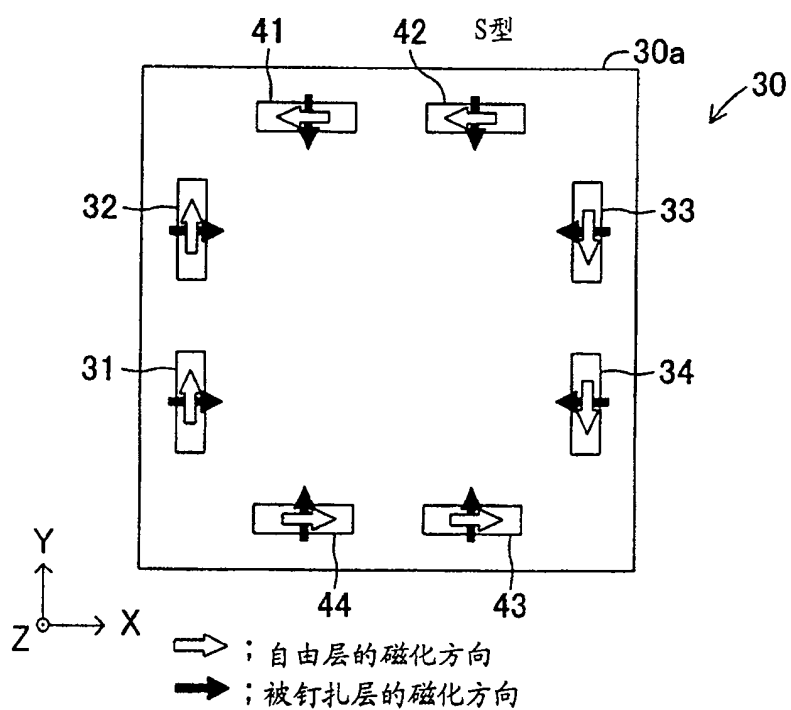


图 2

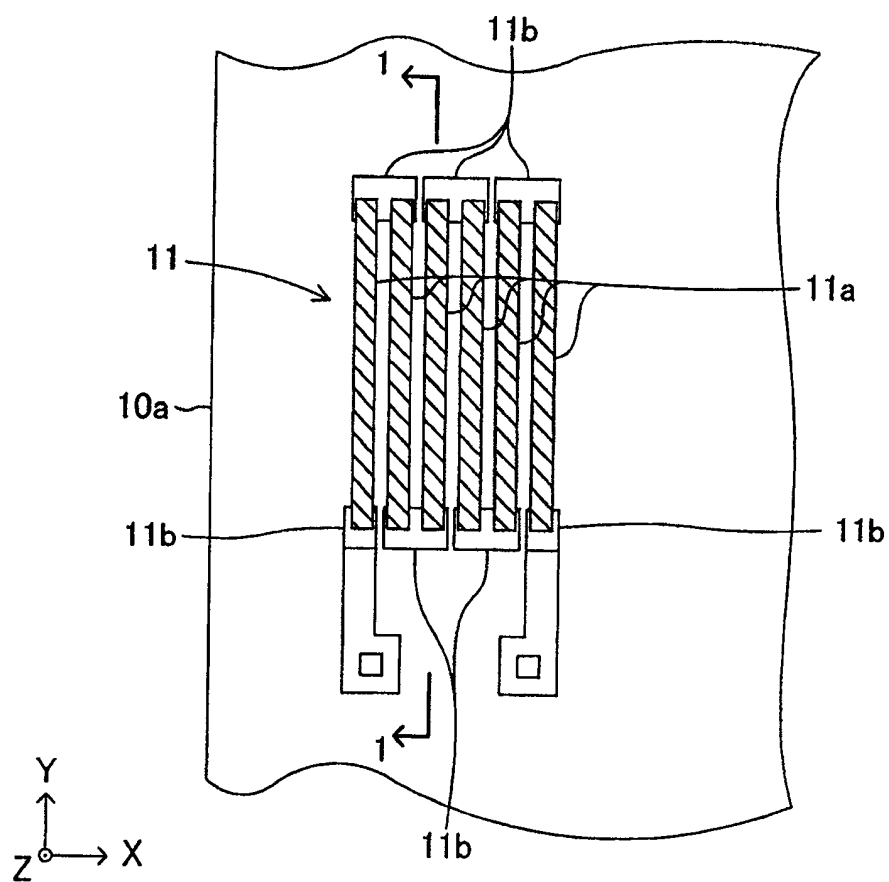


图 3A

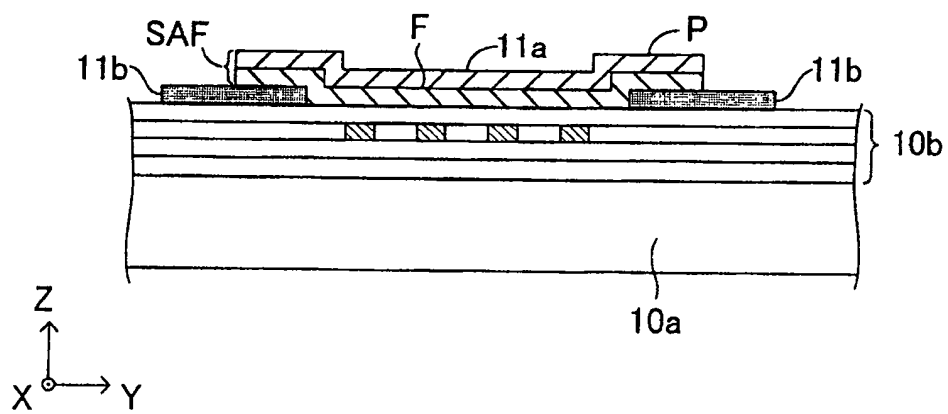


图 3B

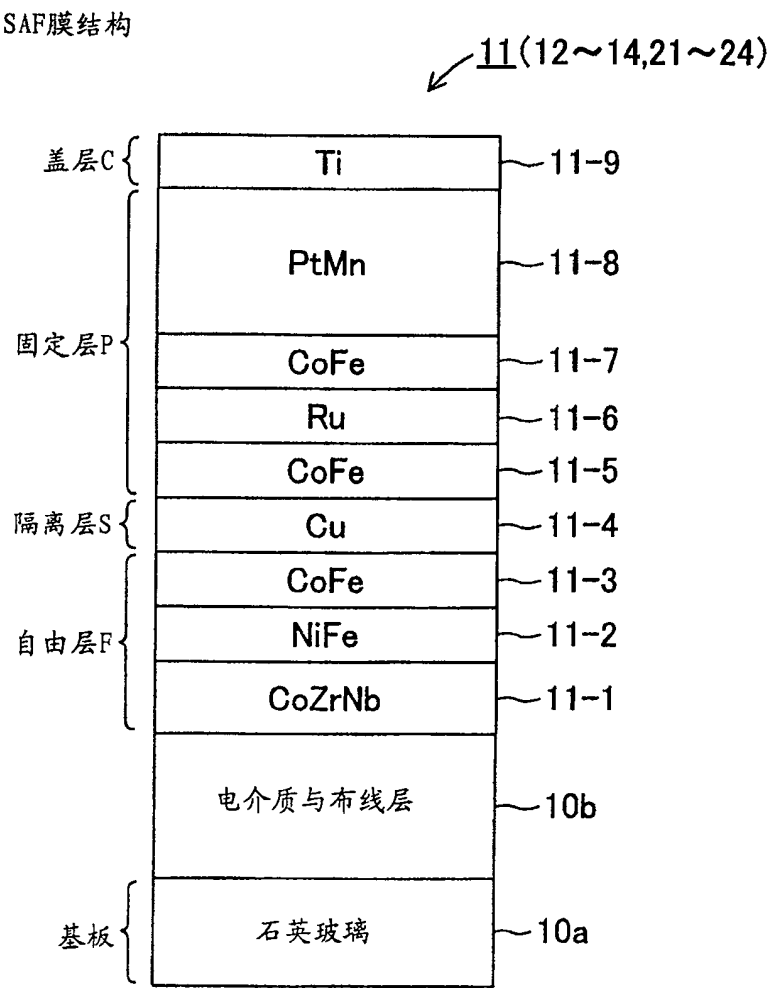


图 4

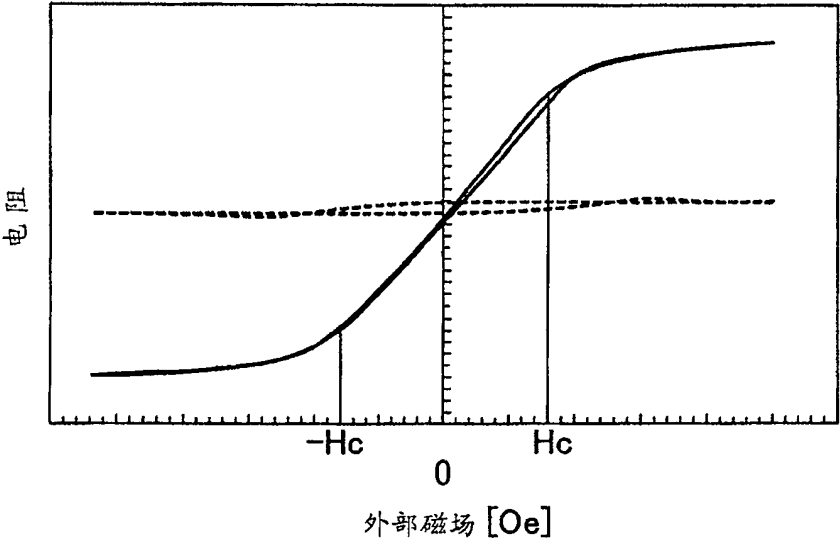


图 5

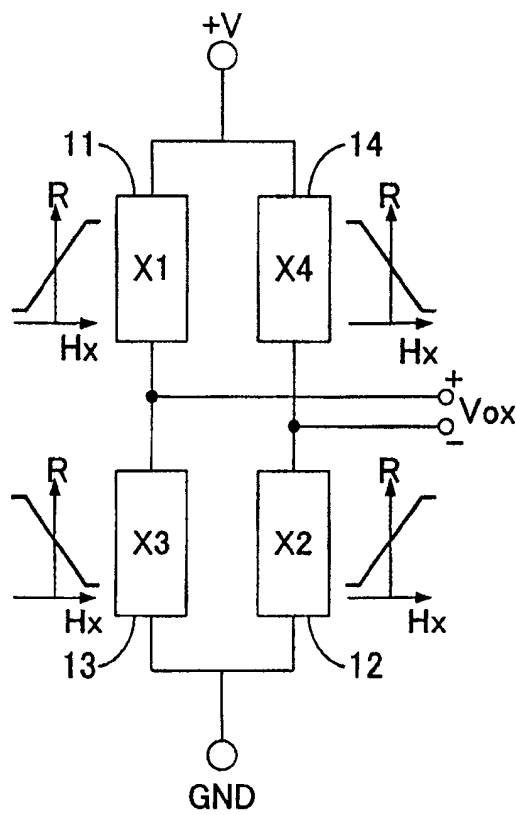


图 6A

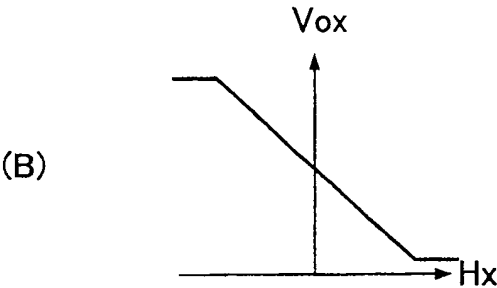


图 6B

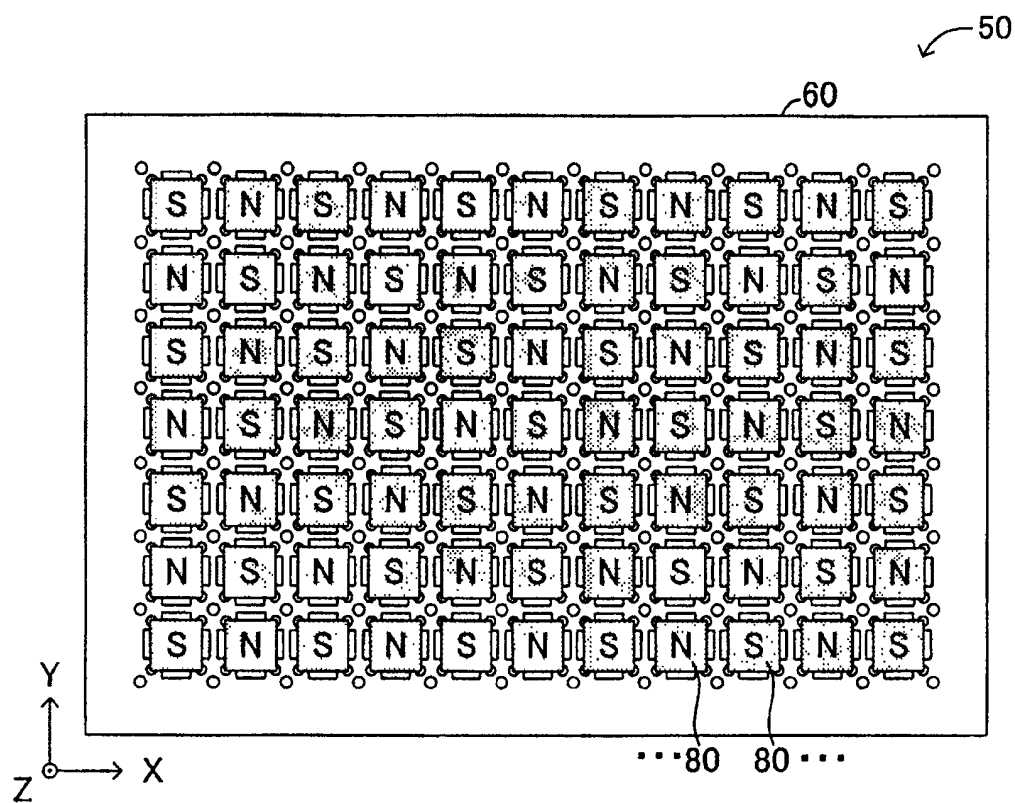


图 7

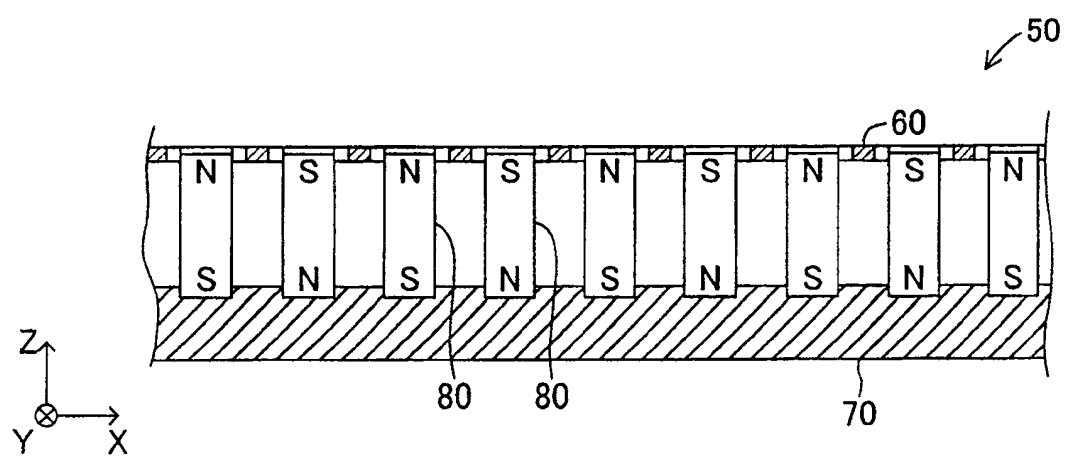


图 8

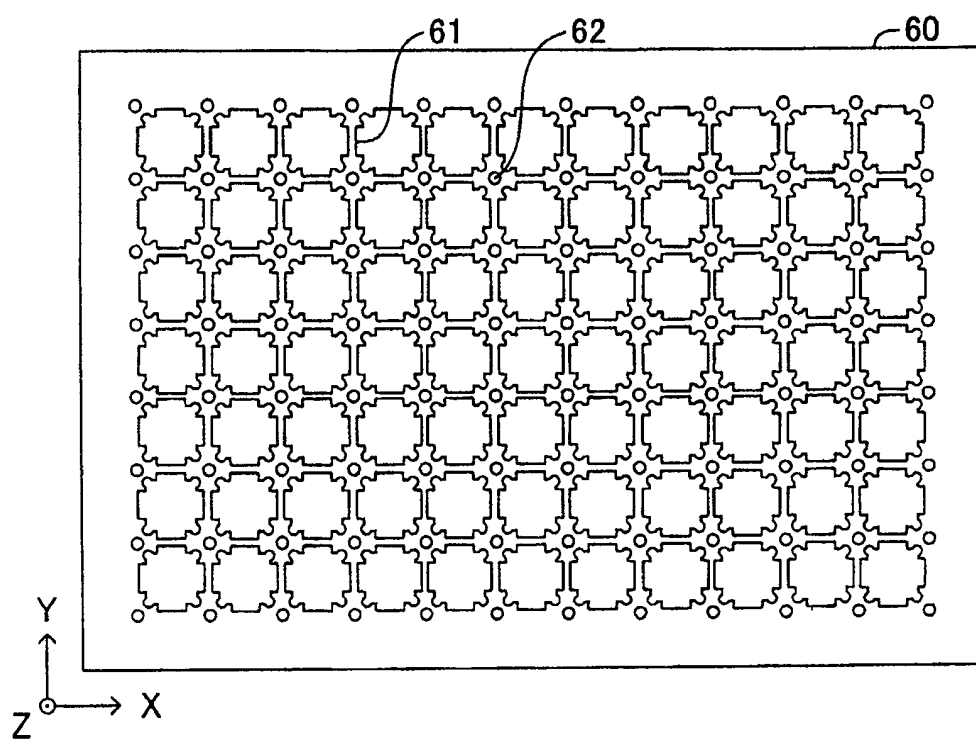


图 9

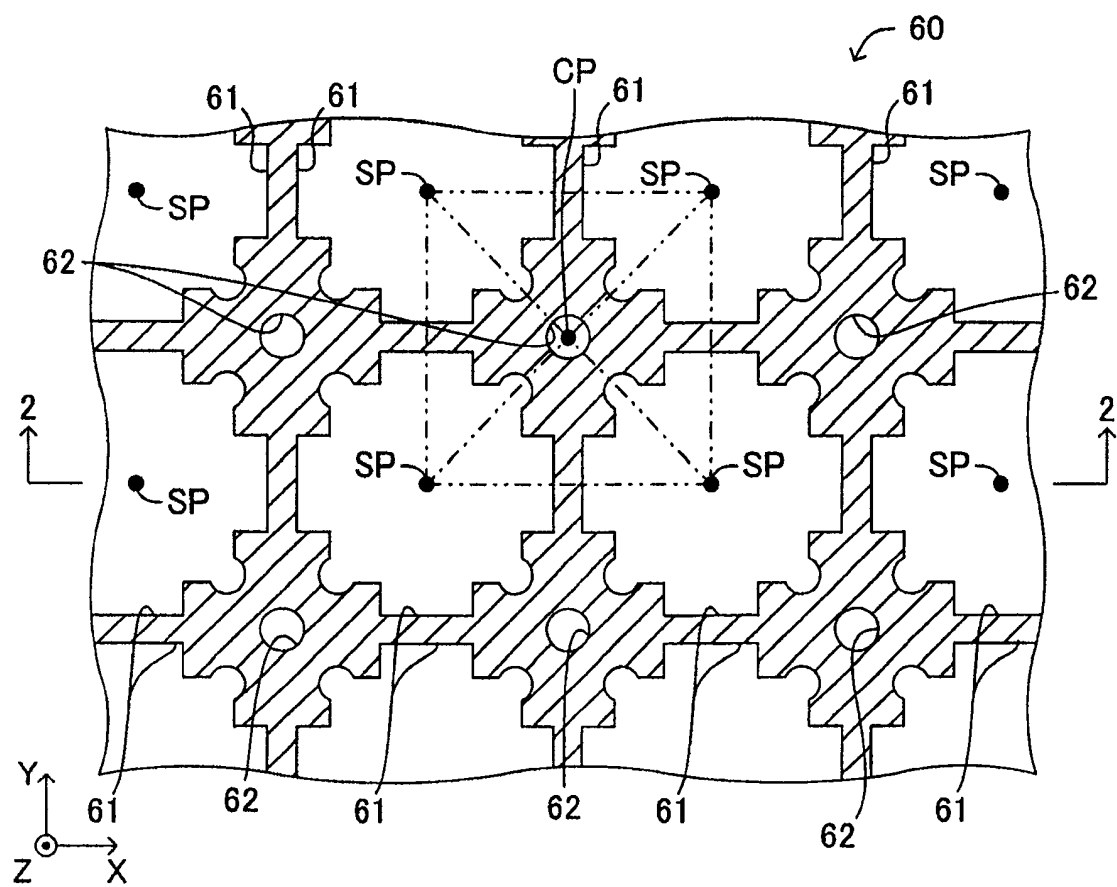


图 10

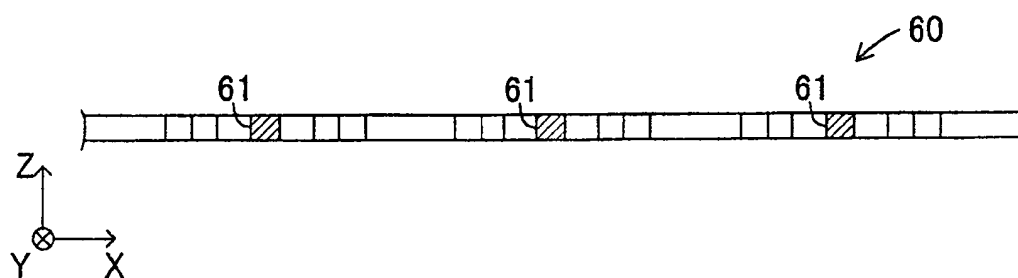


图 11

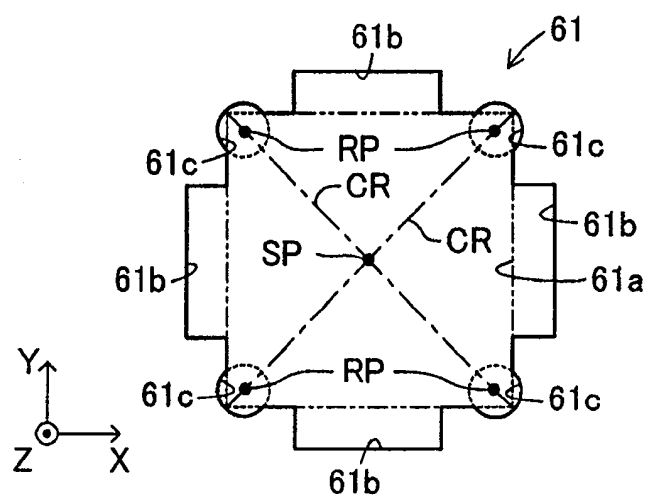


图 12

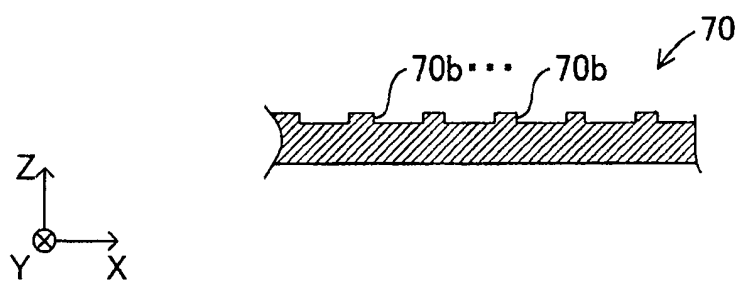


图 13

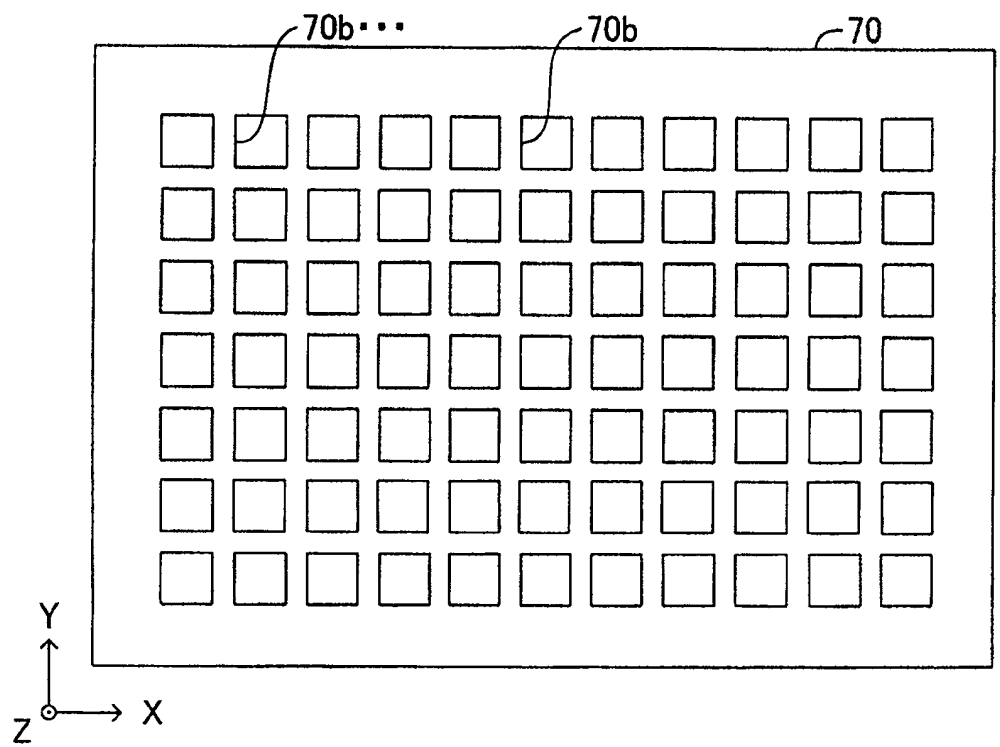


图 14

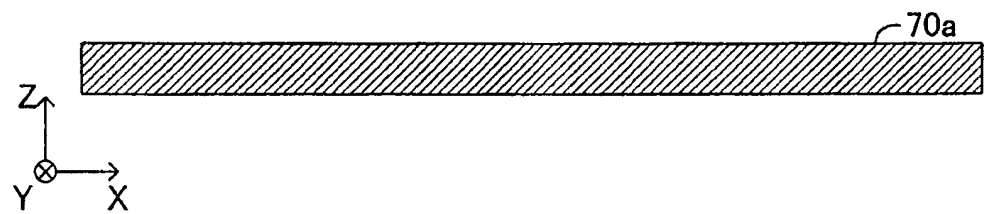


图 15

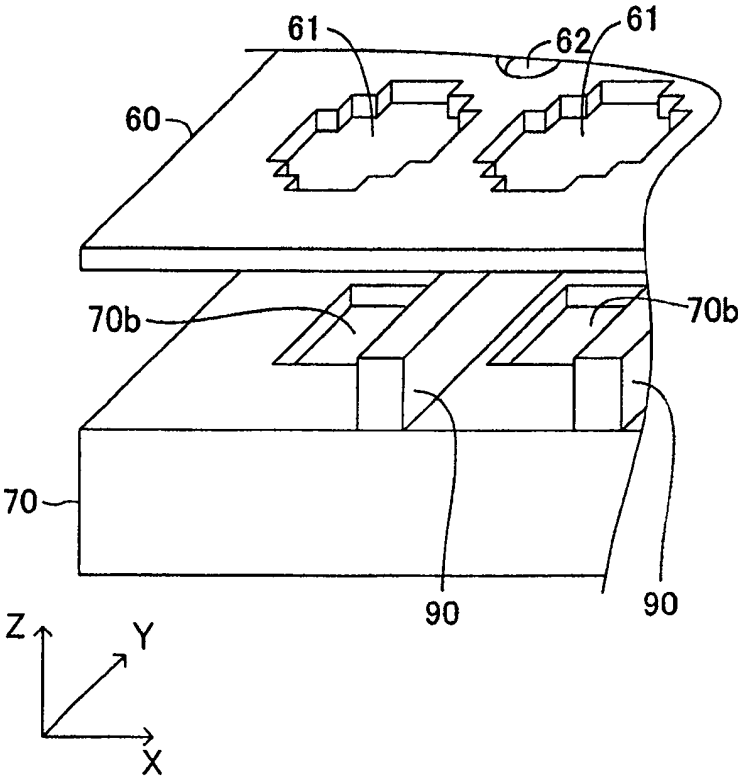


图 16

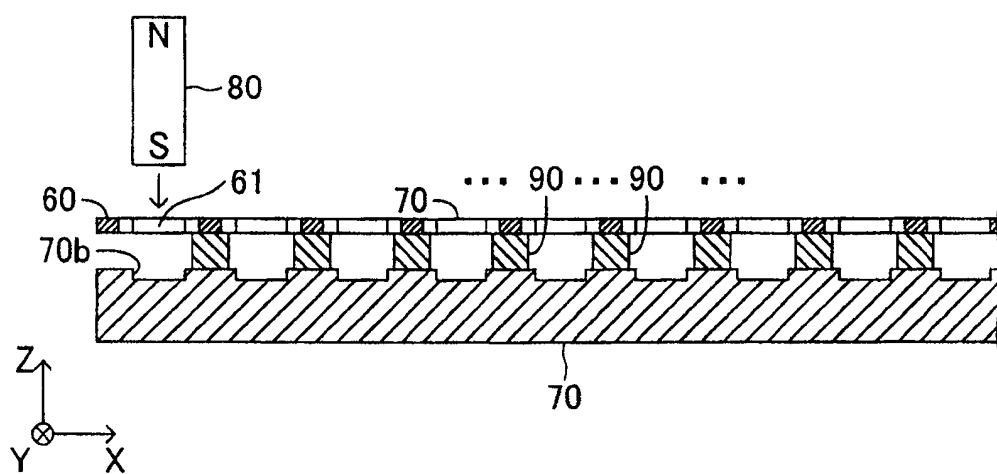


图 17

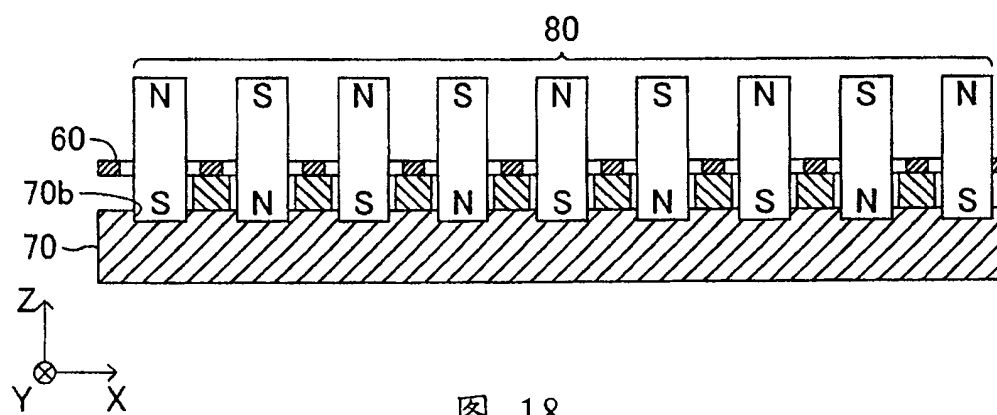


图 18

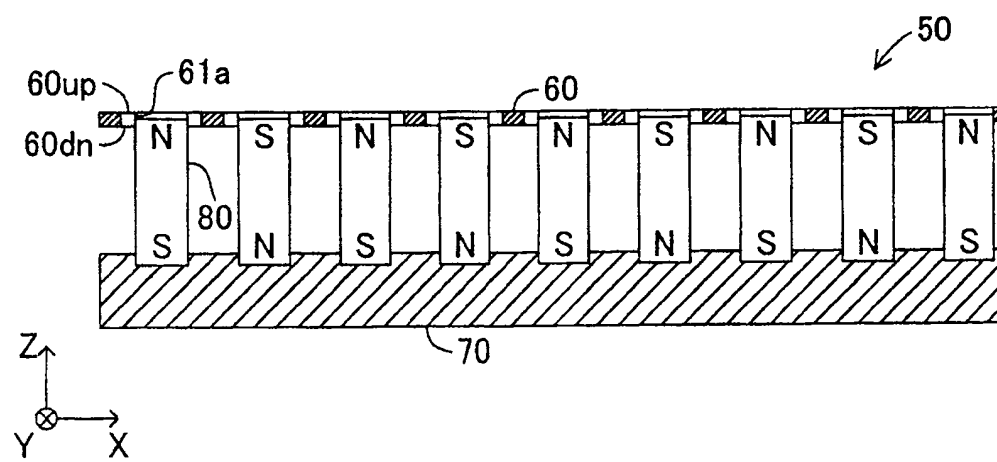


图 19

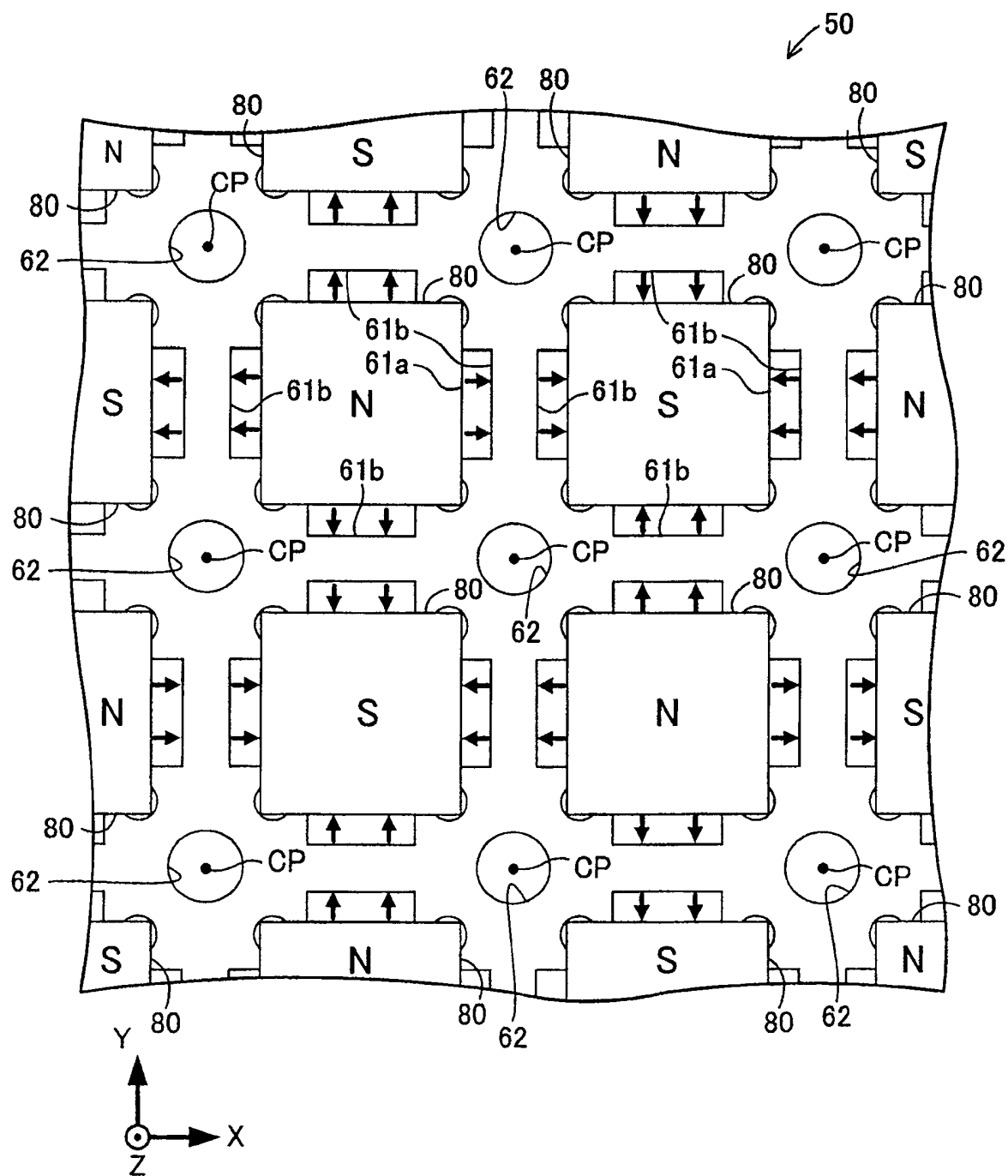


图 21

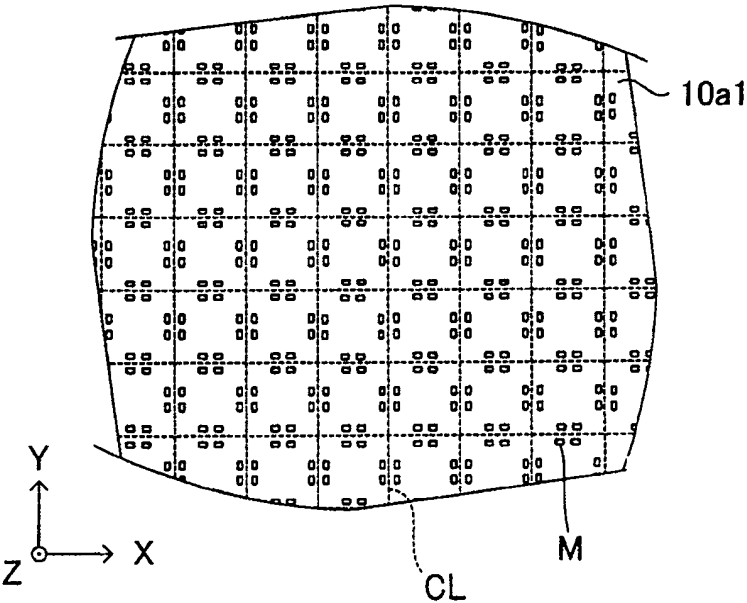


图 22

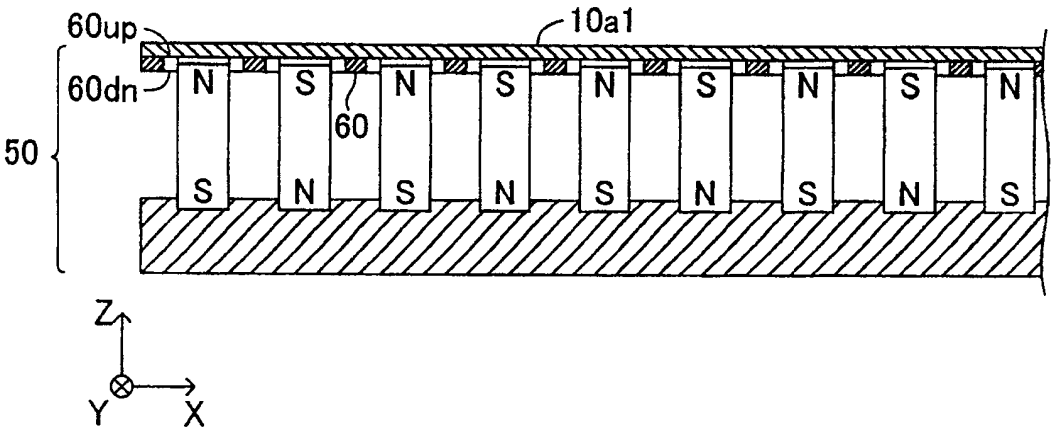


图 23

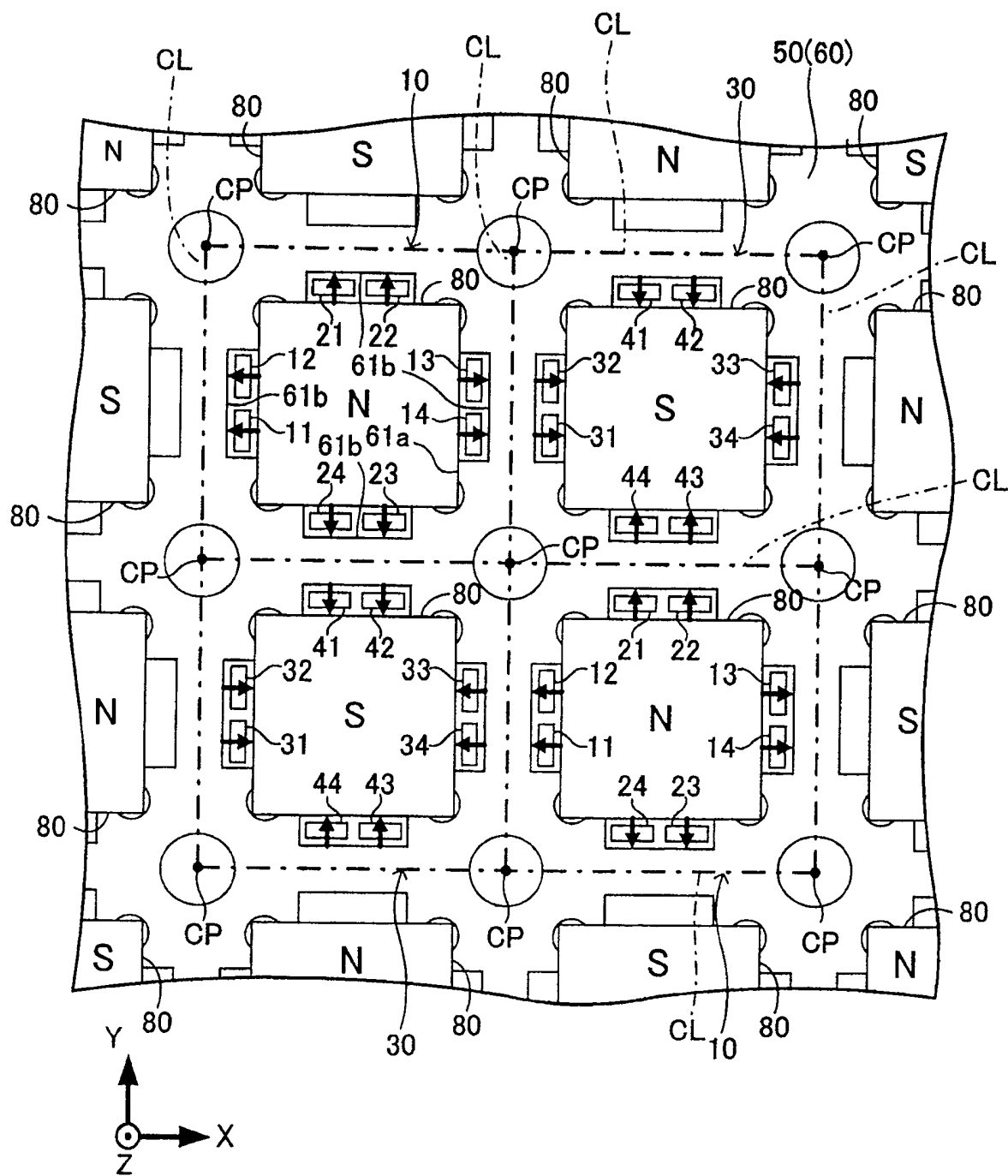


图 24

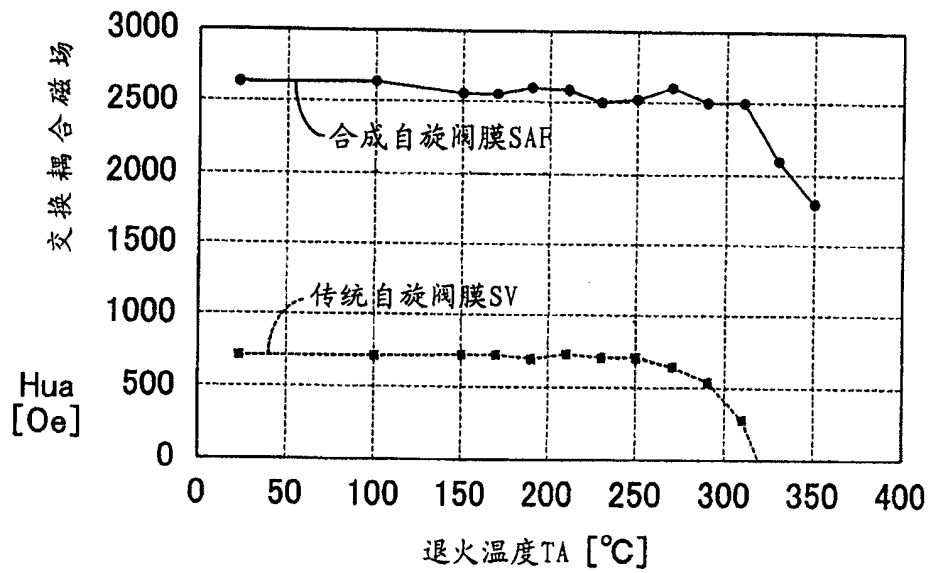


图 25

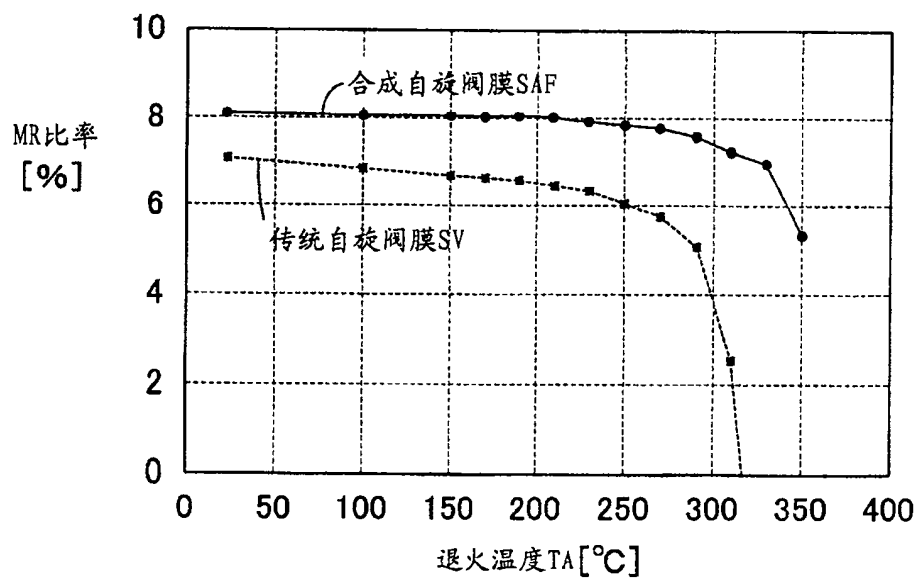


图 26

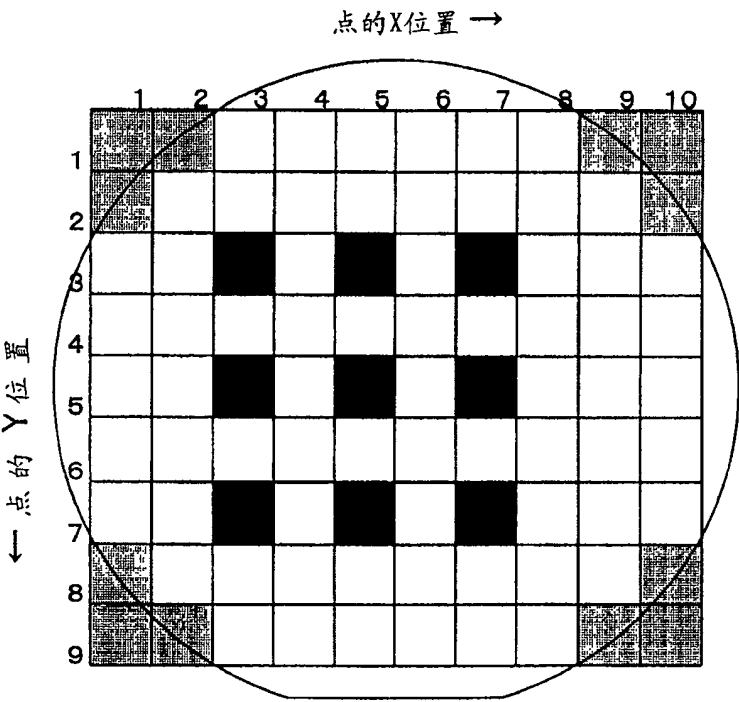


图 27

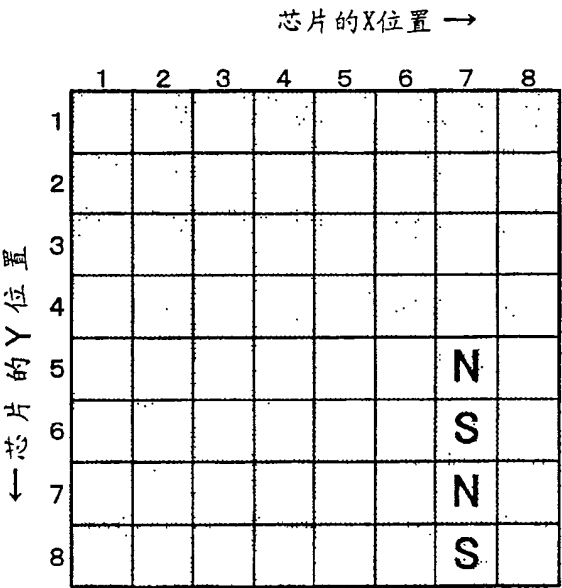


图 28

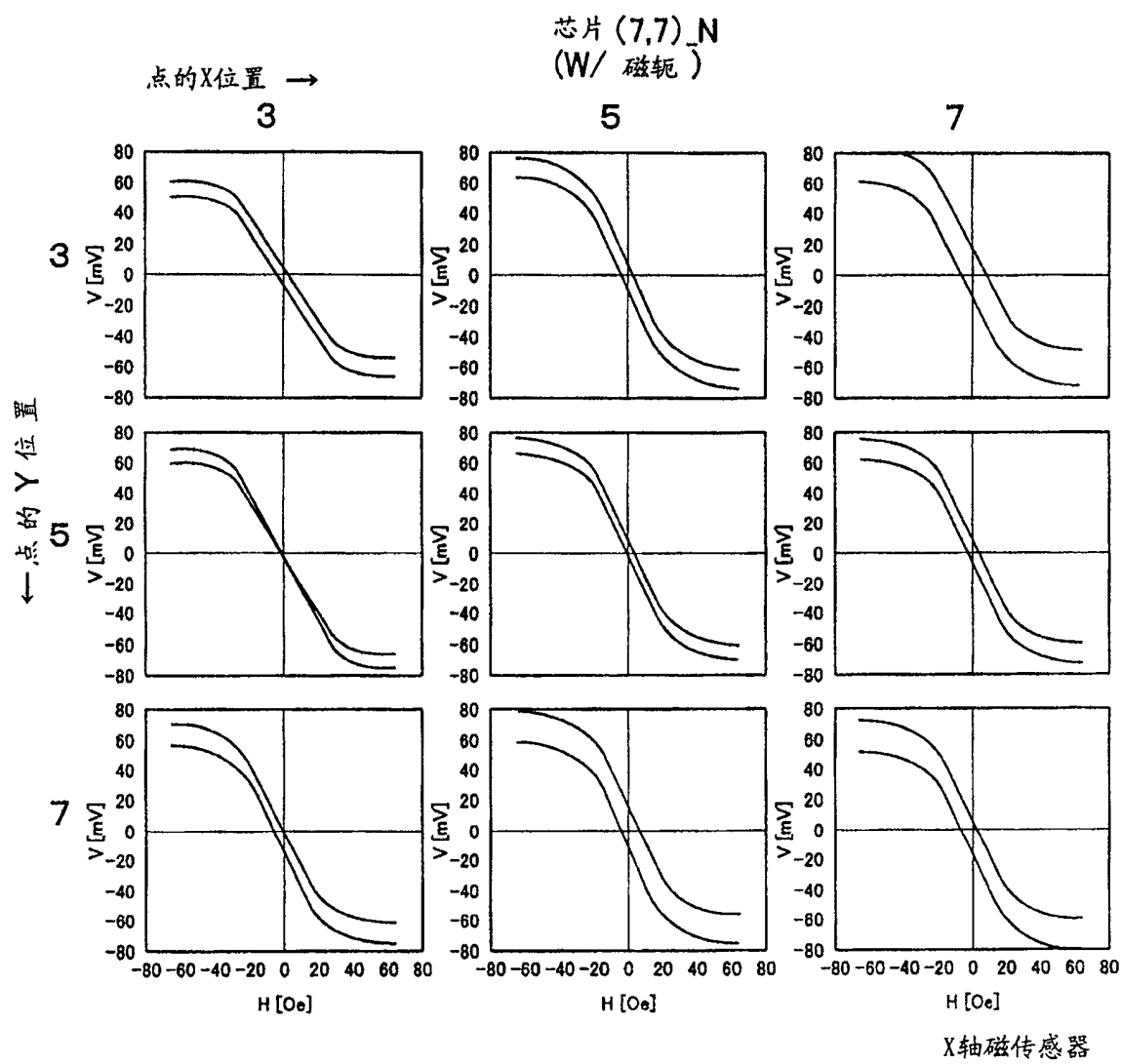


图 29

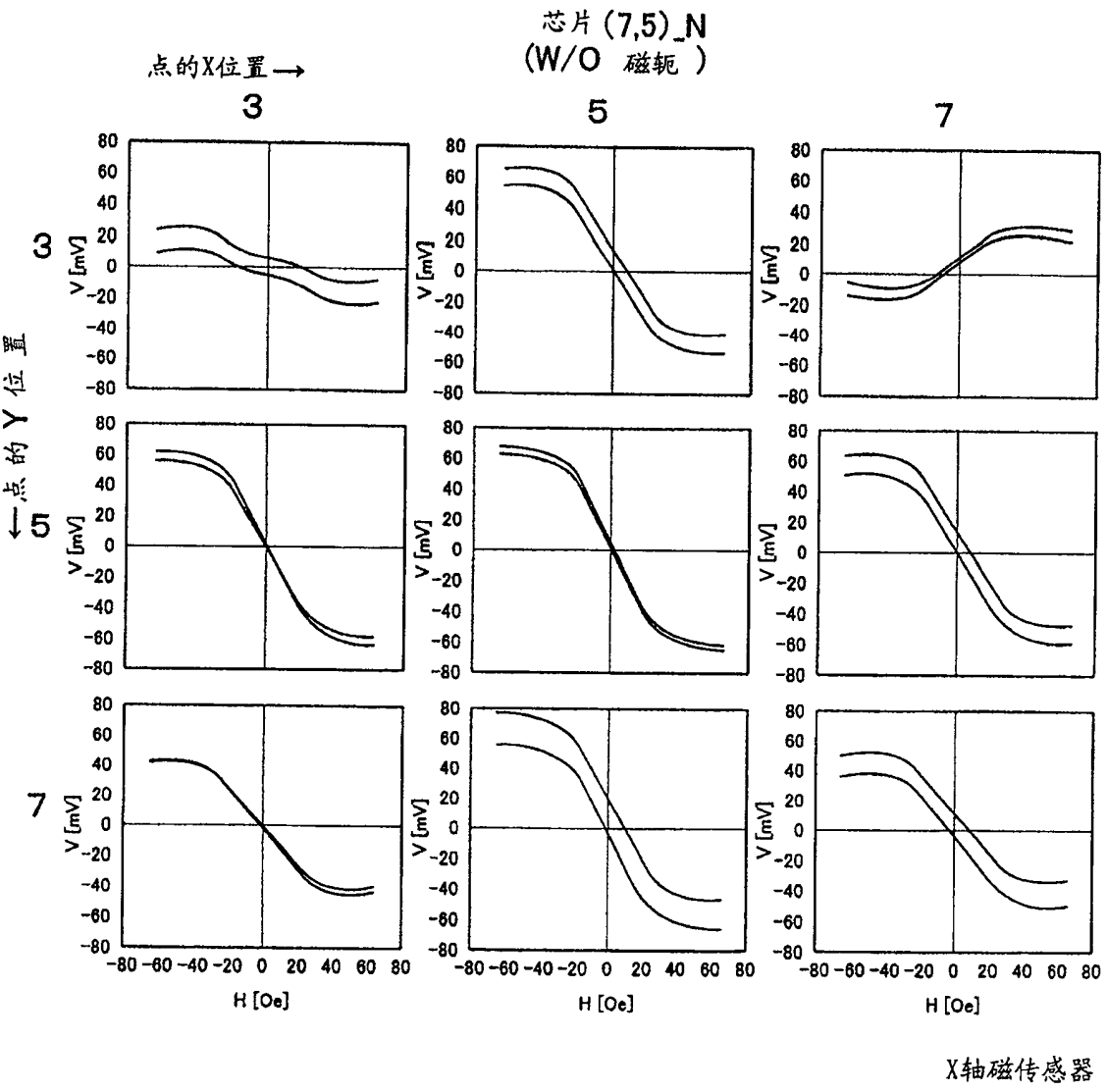


图 30

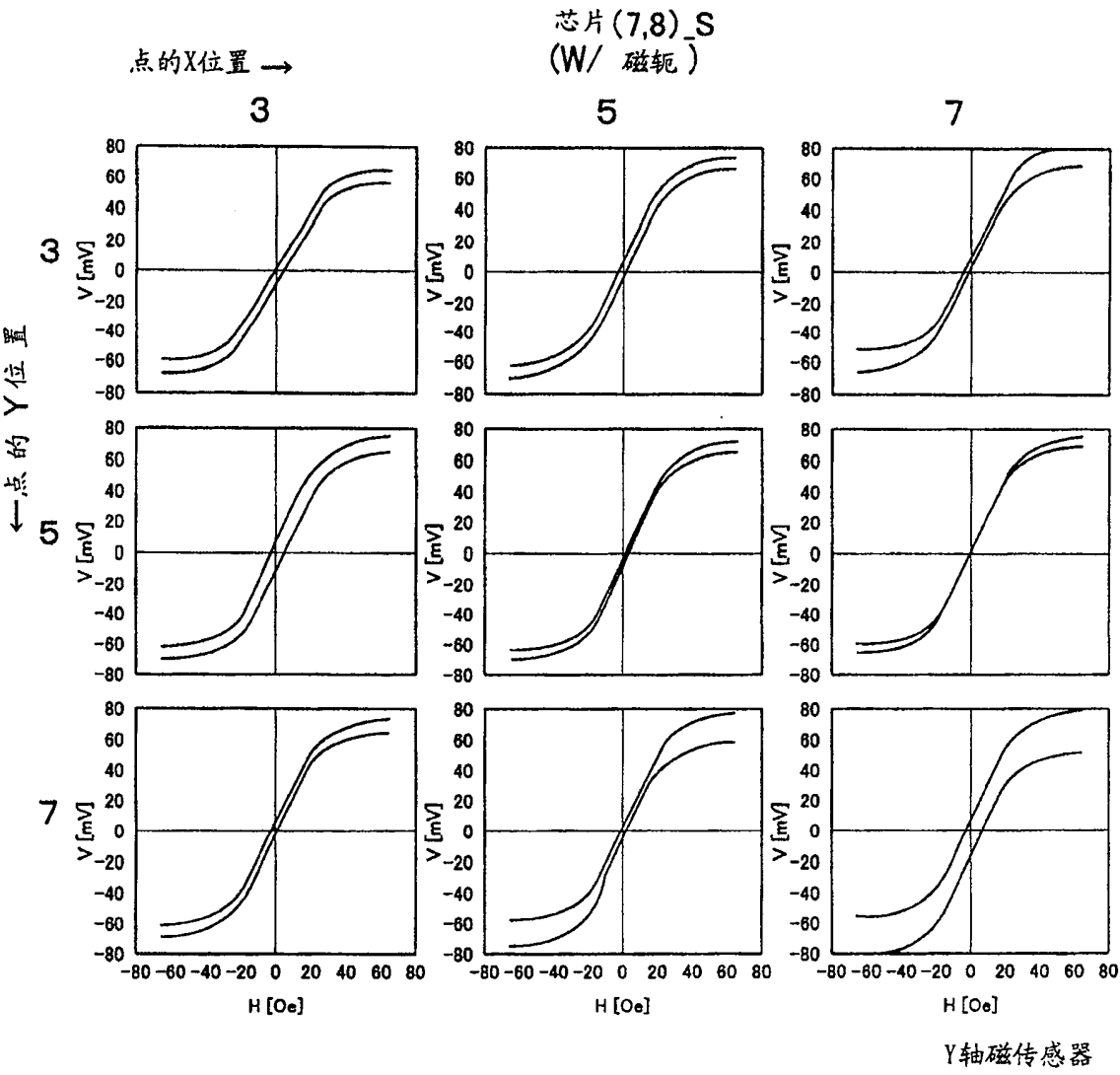


图 31

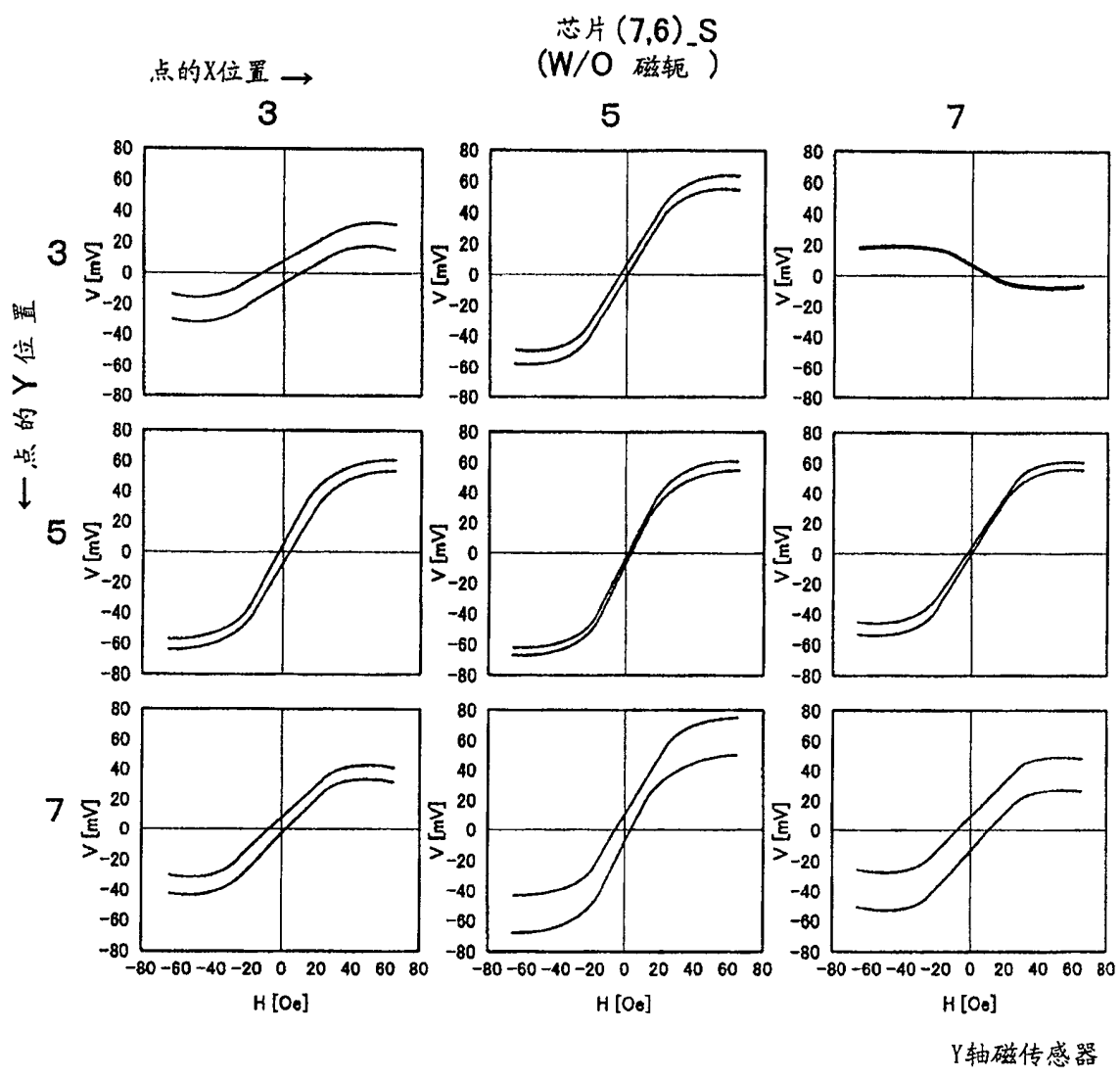


图 32

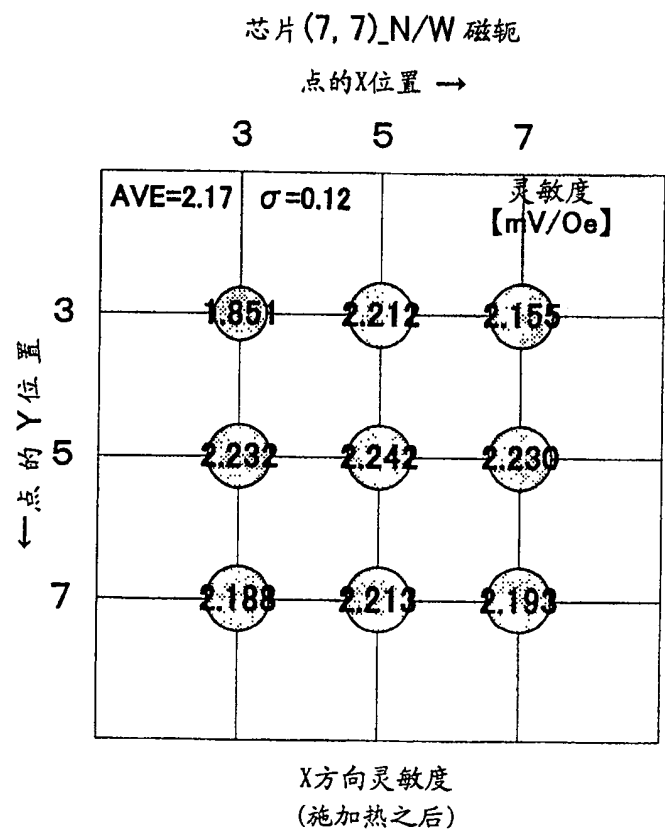


图 33

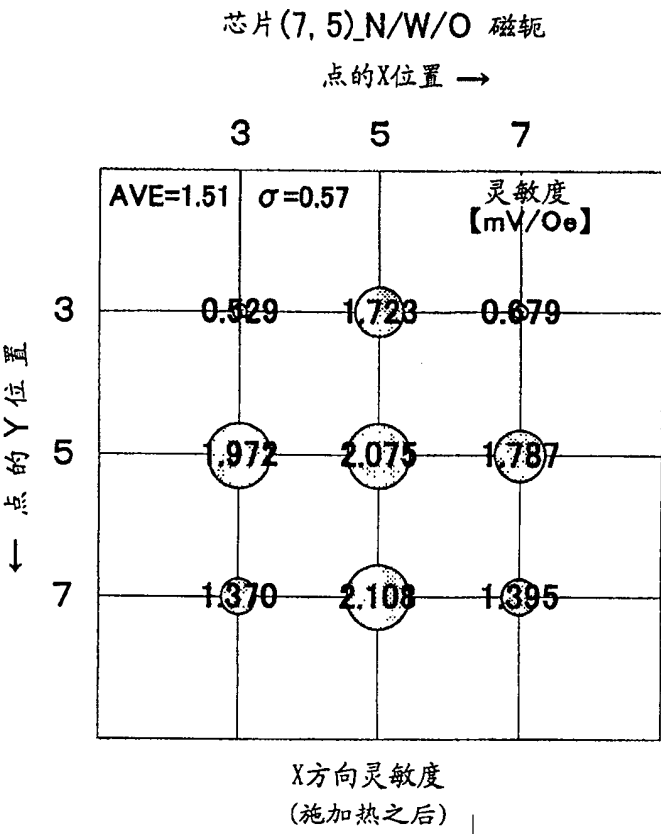


图 34

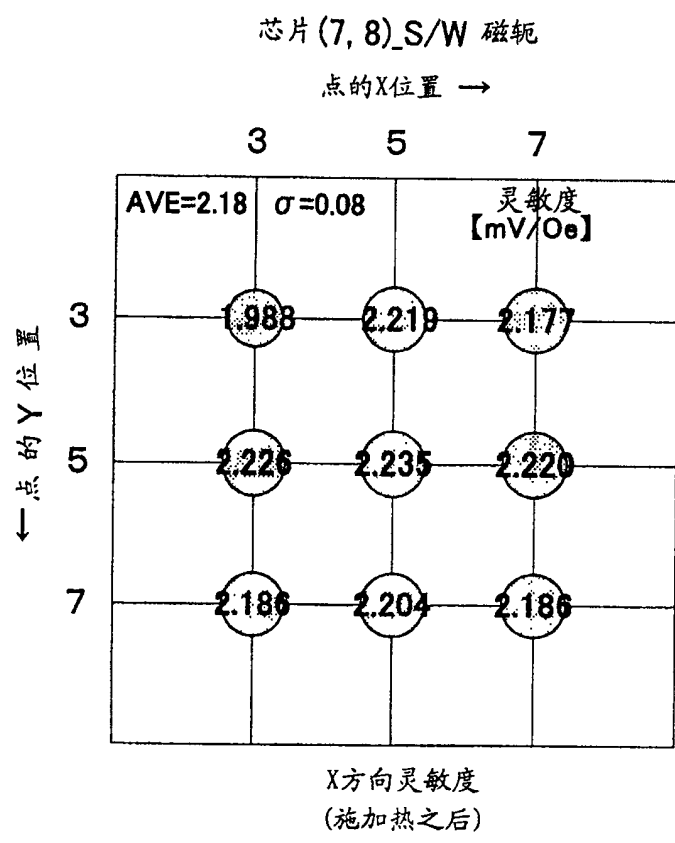


图 35

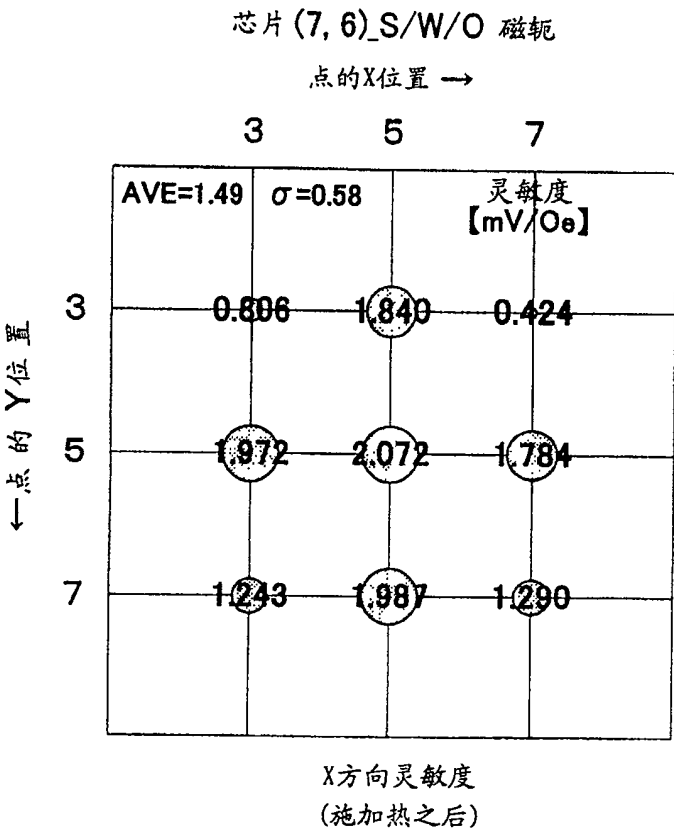


图 36

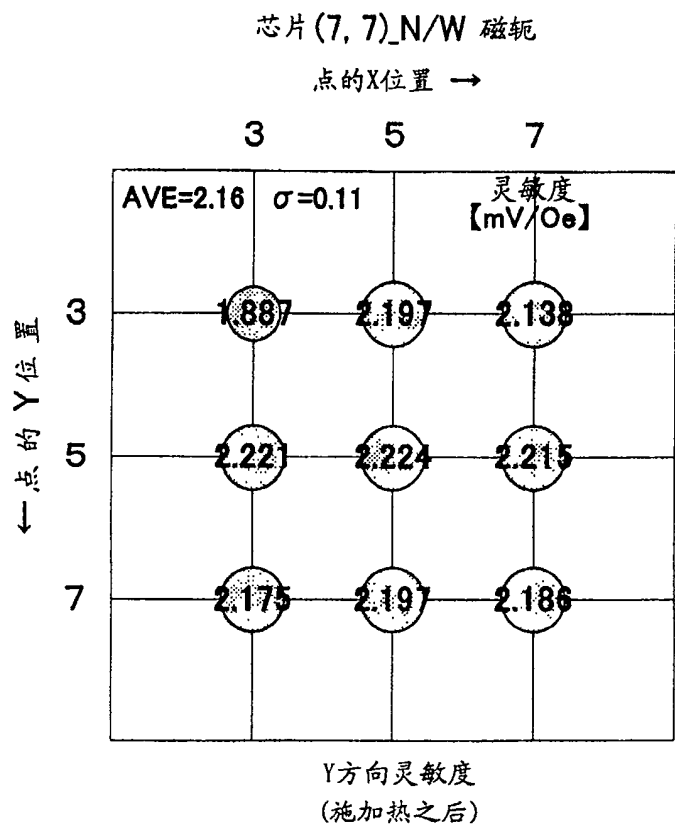


图 37

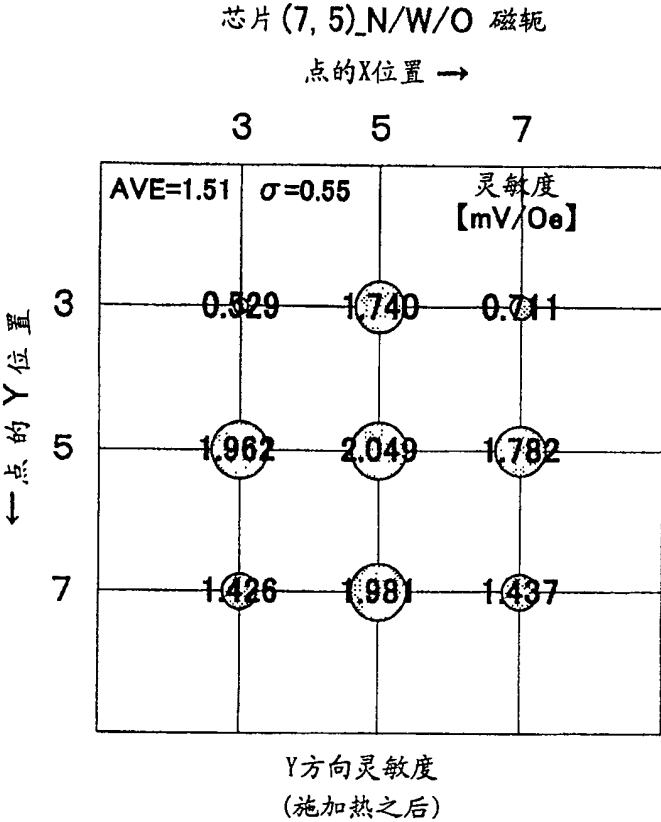


图 38

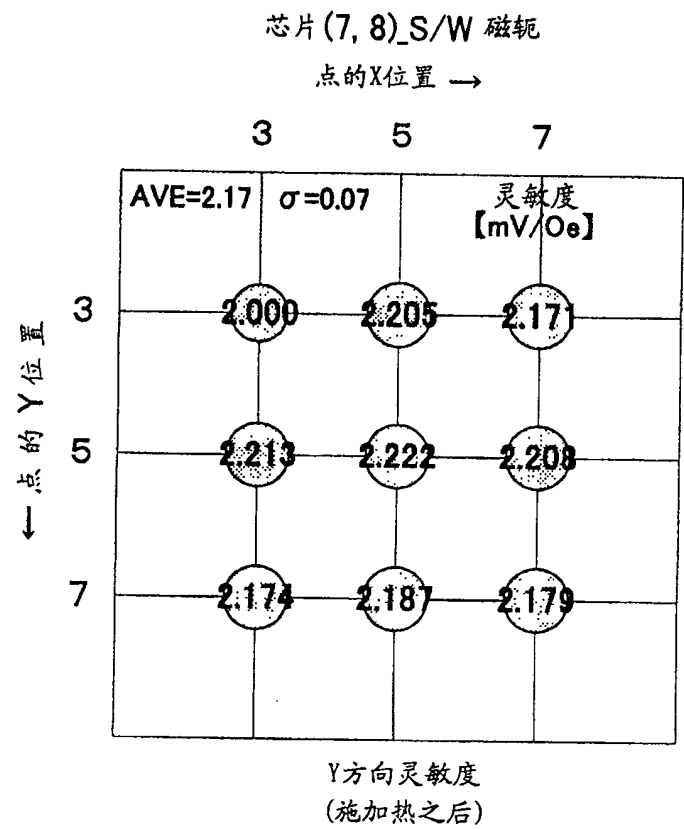


图 39

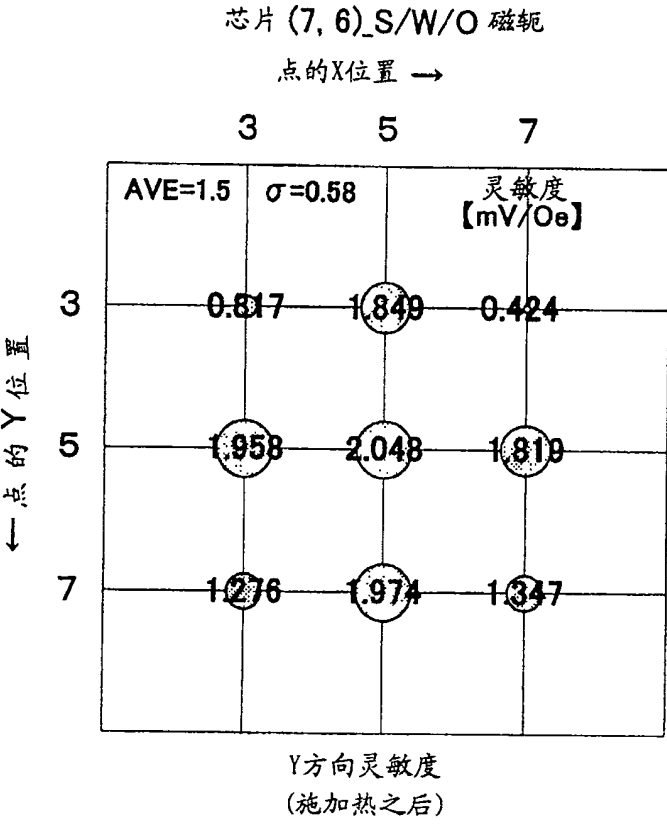


图 40

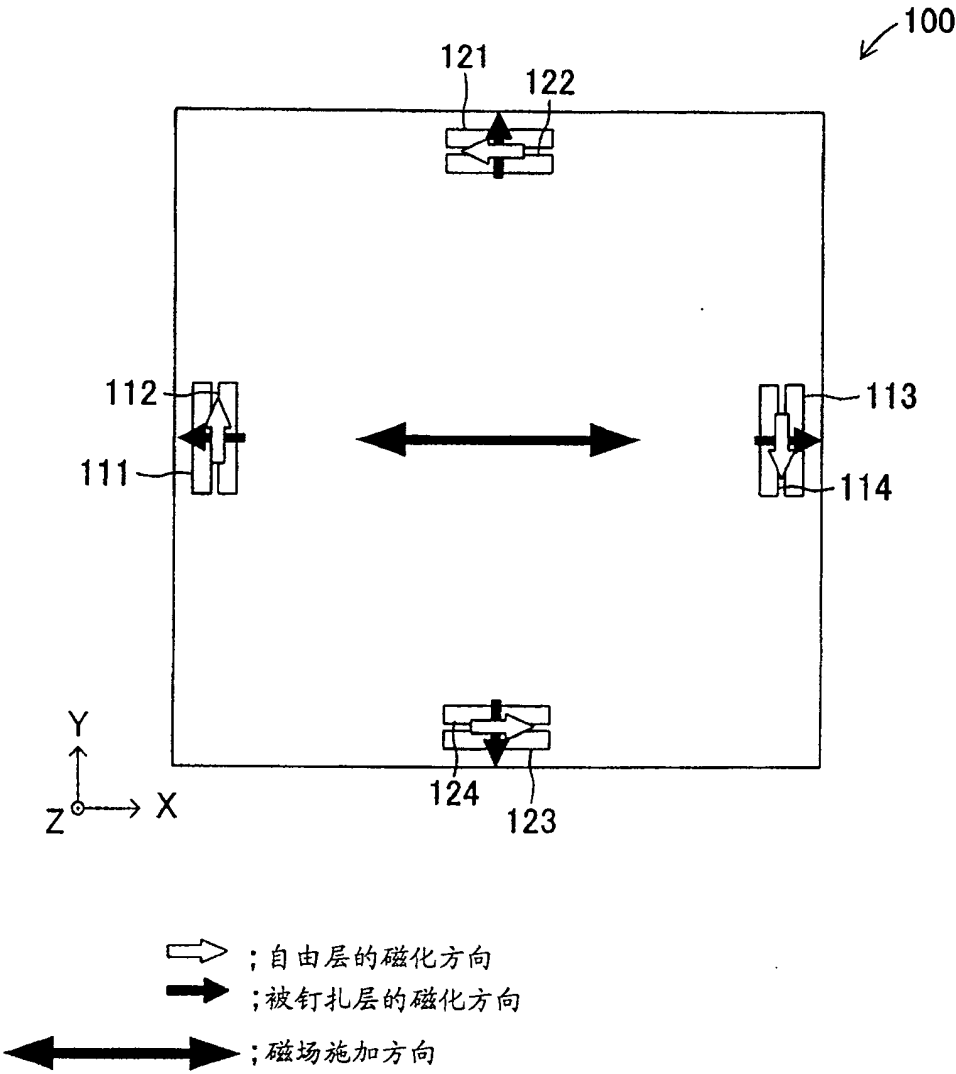


图 41

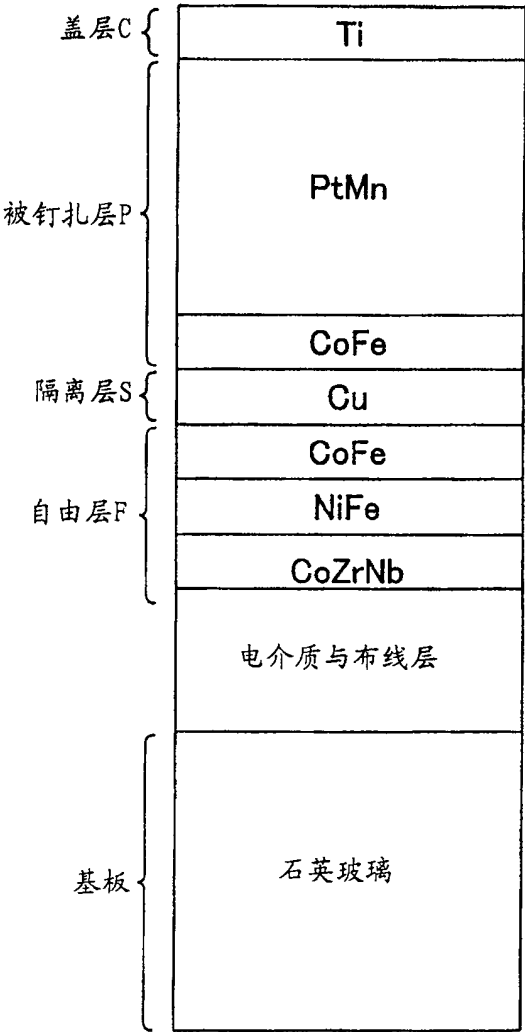


图 42

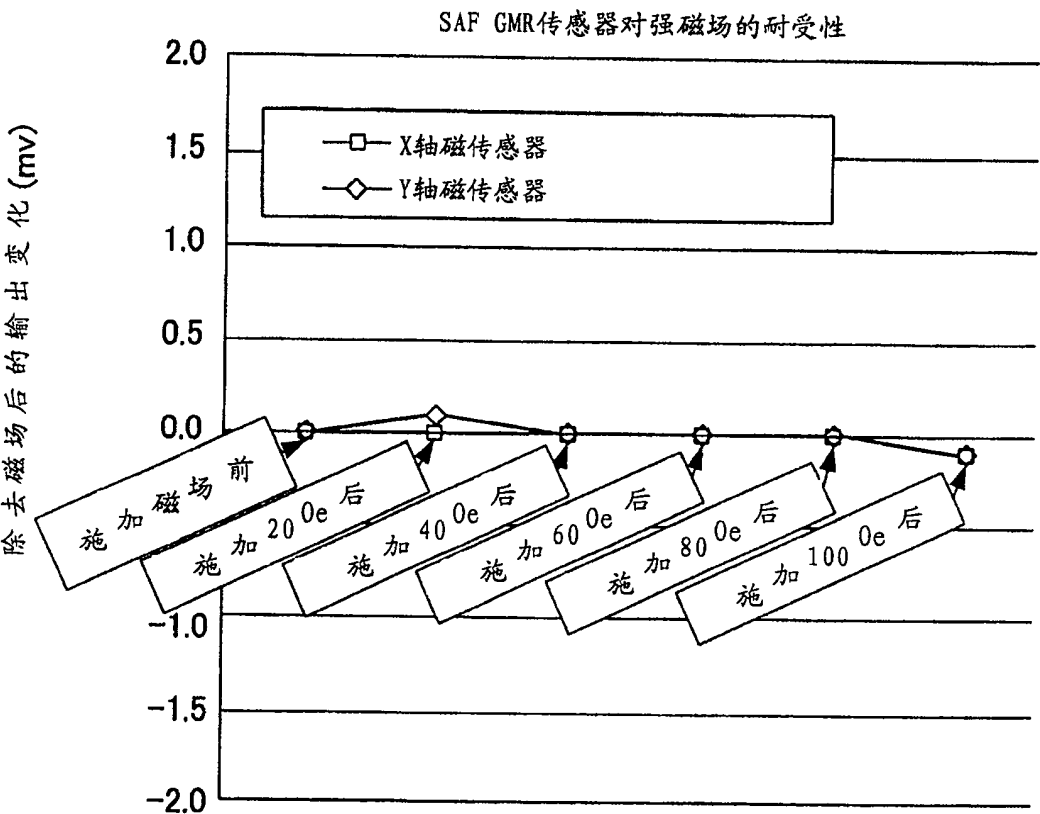


图 43

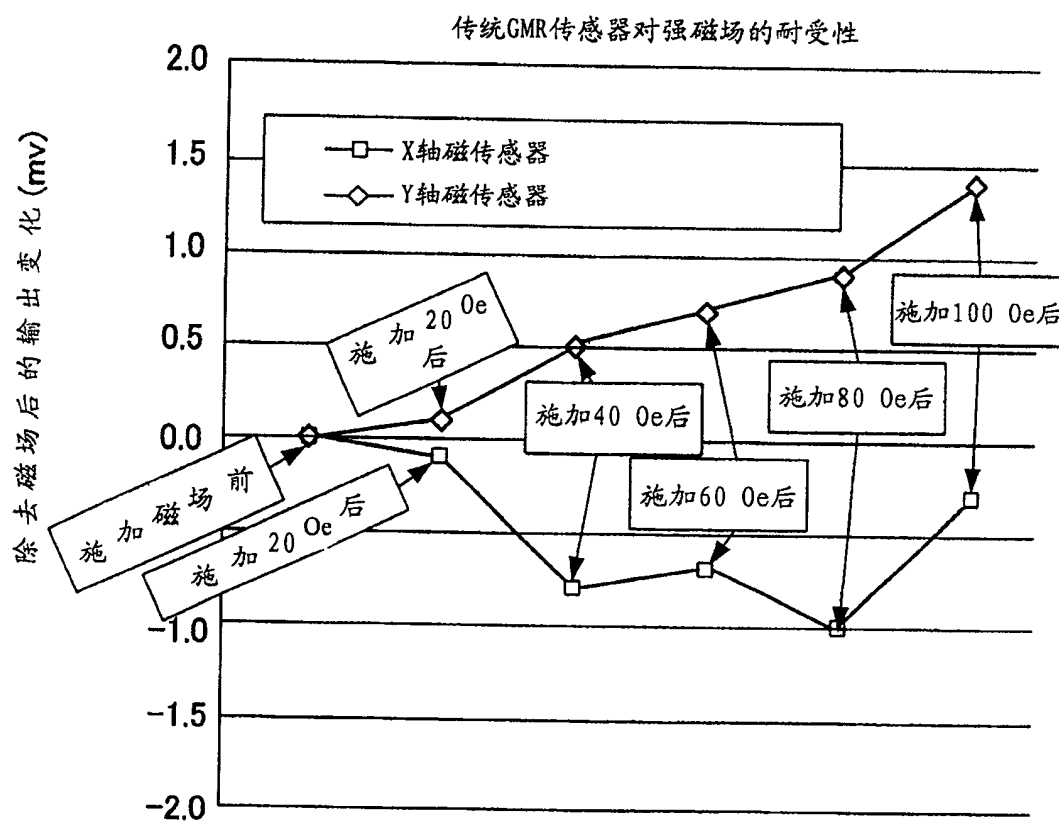


图 44