

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01R 33/06

H01L 43/08 H01L 43/12



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410069969.0

[43] 公开日 2005年3月23日

[11] 公开号 CN 1598609A

[22] 申请日 2004.7.16

[21] 申请号 200410069969.0

[30] 优先权

[32] 2003.7.18 [33] JP [31] 199280/2003

[32] 2003.7.18 [33] JP [31] 199281/2003

[32] 2003.12.18 [33] JP [31] 421236/2003

[71] 申请人 雅马哈株式会社

地址 日本静冈县

[72] 发明人 涌井幸夫 吉田晋 相曾功吉

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

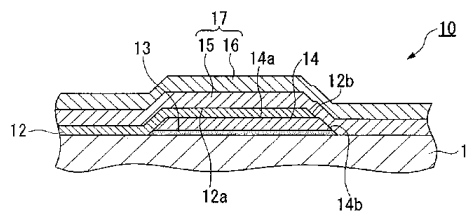
代理人 陶凤波 侯宇

权利要求书3页 说明书45页 附图51页

[54] 发明名称 磁传感器及其制造方法

[57] 摘要

提供一种磁传感器及其制造方法，该磁传感器包括衬底、自旋阀型的磁电阻元件、偏磁层(或者永磁体膜)和保护膜，其中偏磁层与磁电阻元件的两端连接，在磁电阻元件的两端偏磁层的上表面被磁电阻元件的下表面完全覆盖。在这里，从保护膜方向看，磁电阻元件两端的侧面和偏磁层侧面之间的距离不超过3微米。此外，偏磁层的一部分可以被磁电阻元件的两端覆盖，并且一中间层设置为与磁电阻元件、偏磁层和保护膜相连以便完全覆盖偏磁层的上表面。



ISSN 1008-4274

- 1、一种磁传感器,包括:
多个磁电阻膜,以彼此实质上平行的方式分布,各磁电阻膜具有类带形
5 状;和
多个永磁体膜,被分别配置在所述磁电阻膜的端部附近,
其中所述永磁体膜被配置成以乙字形图案接合所述磁电阻膜,使得所述
磁电阻膜的一端通过一个永磁体膜与相邻的磁电阻膜连接,并且该磁电阻膜
的另一端通过另一个永磁体膜与相邻的磁电阻膜连接。
- 10 2. 根据权利要求 1 的磁传感器,其中通过在一衬底上顺序叠层一钉扎层、一被钉扎层、一间隔层和一自由层而构成所述磁电阻膜,并且其中该自由层的单轴各向异性方向与所述磁电阻膜的纵向方向和所述永磁体膜的磁化方向一致。
3. 根据权利要求 1 的磁传感器,其中所述永磁体膜被配置成以下列方
15 式接合所述磁电阻膜,使得所述永磁体膜的排列的总矩形比设定为‘1’以上,并且所述永磁体膜的纵向方向与所述磁电阻膜的纵向方向相一致。
4. 根据权利要求 2 的磁传感器,其中所述永磁体膜被配置成以下列方
式接合所述磁电阻膜,使得所述永磁体膜的排列的总矩形比设定为‘1’以上,并且所述永磁体膜的纵向方向与所述磁电阻膜的纵向方向相一致。
- 20 5. 根据权利要求 1 到 4 中任一项的磁传感器,其中所述永磁体膜由导电材料组成以便实现相邻磁电阻膜的端部之间电连接在一起。
6. 一种磁传感器,包括:
衬底;
形成于所述衬底上的自旋阀型的磁电阻元件;
25 配置成连接所述磁电阻元件的两端的偏磁层;和
用于分别覆盖所述磁电阻元件和所述偏磁层的保护膜,
其中在所述磁电阻元件的两端,所述偏磁层的上表面被所述磁电阻元件
的下表面完全覆盖。
7. 根据权利要求 6 的磁传感器,其中所述磁电阻元件的所述两端的侧面
30 和所述偏磁层的侧面之间的距离不超过 3 μ m,其中该距离通过从所述保护膜观测所述磁电阻元件在所述偏磁层的周缘部分中测量得到。

8. 一种磁传感器, 包括:
衬底;
配置在所述衬底上的自旋阀型的磁电阻元件;
由永磁体膜构成的偏磁层, 其与所述磁电阻元件的两端相连;
- 5 保护膜, 配置成分别覆盖所述磁电阻元件和所述偏磁层; 以及
配置在所述偏磁层与所述保护膜之间的中间层。
9. 一种磁传感器, 包括:
衬底;
配置在所述衬底上的自旋阀型的磁电阻元件;
- 10 由永磁体膜构成的偏磁层, 其与所述磁电阻元件的两端相连, 且所述磁电阻元件配置成覆盖所述偏磁层的一部分;
保护膜, 配置成分别覆盖所述磁电阻元件和所述偏磁层; 以及
中间层, 配置成与所述磁电阻元件、所述保护膜和所述偏磁层相连以便完全覆盖所述偏磁层的上表面。
- 15 10. 一种磁传感器, 包括:
衬底;
配置在所述衬底上的自旋阀型的磁电阻元件;
由永磁体膜构成的偏磁层, 其与所述磁电阻元件的两端相连, 且所述磁电阻元件配置成覆盖所述偏磁层的一部分;
- 20 保护膜, 配置成分别覆盖所述磁电阻元件和所述偏磁层; 以及
中间层, 配置成覆盖所述偏磁层的上表面的未被所述磁电阻元件覆盖的部分。
11. 一种磁传感器, 包括:
衬底;
- 25 配置在所述衬底上的自旋阀型的磁电阻元件;
由永磁体膜组成的偏磁层, 其与所述磁电阻元件的两端相连, 所述磁电阻元件配置成覆盖所述偏磁层的一部分;
配置成分别覆盖所述磁电阻元件和所述偏磁层的保护膜; 和
中间层, 配置成覆盖未被所述磁电阻元件覆盖的所述偏磁膜的上表面的
- 30 部分和覆盖所述磁电阻元件的上表面和所述磁电阻元件的所述两端的侧面。
12. 一种磁传感器, 包括:

- 衬底；
配置在所述衬底上的自旋阀型的磁电阻元件；
由永磁体膜构成的偏磁层，其与所述磁电阻元件的两端相连；
配置成分别覆盖所述磁电阻元件和所述偏磁层的保护膜；以及
- 5 配置成完全覆盖所述偏磁层的上表面和覆盖所述磁电阻元件的上表面和所述磁电阻元件的所述两端的侧面的中间层。
13. 一种磁传感器，包括：
配置在衬底上的至少一个磁电阻元件；以及
配置在所述衬底上的至少一个永磁体；
- 10 其中，所述磁电阻元件包括一自由层、一形成于所述自由层上的间隔层和一形成于所述间隔层上的被钉扎层，
以及其中，所述磁电阻元件的宽度在 6 μm 到 8 μm 之间，并且所述间隔层的厚度在 28 \AA 至 34 \AA 之间。
14. 一种磁传感器的制造方法，其中一偏磁层与形成在一衬底上的具有
- 15 类带形状的磁电阻元件的两端相连接，所述制造方法包括下列步骤：
在所述磁电阻元件上涂覆抗蚀剂以便形成一抗蚀剂图案；
加热所述抗蚀剂图案使其回流，于是形成其表面倾斜的抗蚀剂膜；以及
沿倾斜方法对该衬底施加离子束，于是在所述磁电阻元件上执行研磨；
其中位于纵向方向上的所述磁电阻元件的指定侧表面经历锥形成形。
- 20 15. 根据权利要求 14 的磁传感器的制造方法，其中当在所述磁电阻元件上执行研磨后，沿垂直方向将离子束加在衬底上，于是进一步在所述磁电阻元件上执行研磨。
16. 根据权利要求 14 或 15 的磁传感器的制造方法，其中位于纵向方向上的所述磁电阻元件的所述侧表面经历锥形成形，使得所述磁电阻元件的自由层的磁化方向在没有施加外部磁场的情况下被迫沿所述磁电阻元件的纵向方向排列。
- 25

磁传感器及其制造方法

5 技术领域

本发明涉及一种使用巨磁电阻元件（或 GMR 元件）的自旋阀型的磁传感器及其制作方法。

本申请要求日本专利申请第 2003-421236、2003-199280 和 2003-199281 号的优先权，其内容在本文中参考引用。

10

背景技术

传统上，各种使用自旋阀型磁电阻元件如巨磁电阻元件（或 GMR 元件）的磁传感器已经开发出来并投入实际使用，在磁场作用下磁电阻元件的电阻发生变化。

15 例如，GMR 元件由磁化方向在指定方向被钉扎的被钉扎层和磁化方向随外加磁场变化的自由层组成，其中它表示在磁化方向上的与被钉扎层和自由层之间的相对关系相应的电阻，通过测量元件的电阻可以检测外加磁场。

包含在磁传感器中的 GMR 元件由微细线条图案组成，线条以 Z 字形方式折叠多次，由此可以在一个非常小的面积内增加总路径长度，从而增加阻
20 抗，因而可以减少消耗的电流。

在前述具有 Z 字形图案的 GMR 元件中，微细线条的折叠部分（或弯曲部分）由磁电阻膜构成，这可以使得 GMR 元件的灵敏度方向不一致；换句话说，这破坏了外磁场和磁电阻元件的电阻之间的线性关系（或线性度）；因而，难以精确测量磁场的强度。

25 考虑前述结构的不足，开发了一种使用具有 Z 字形图案的 GMR 元件的磁传感器，其中弯曲部分由无磁性膜构成。传统知晓的磁传感器的例子在日本专利申请公开第 2000-206217 号和日本专利申请公开第 2002-299728 号中有介绍。

与 GMR 元件的弯曲部分由磁电阻膜构成的磁传感器相比，前述的磁传
30 感器可以精确测量磁场强度，然而前述的磁传感器可能无法充分维持磁电阻膜的自由层中的单轴各向异性，因为弯曲部分由无磁性膜组成。鉴于这个原

因, 当一个具有相当高强度的干扰磁场施加到外磁场时, 自由层的磁化方向可能无法与其初始磁化方向保持一致(或重建); 因而, 这种磁传感器不可能总是以好的重现性来测量外磁场的强度。

此外, 开发了另一种磁传感器, 其中为了保持 GMR 元件的自由层中的单轴各向异性, 设置一偏磁层(相应于由铁磁性物质构成的永磁体膜)与 GMR 元件的弯曲部分附近的磁电阻膜的两端接触。

在前述的磁传感器中, 具有 Z 字形图案的 GMR 元件包括磁电阻膜和无磁性膜, 其中永磁体膜设置在其电阻电路中弯曲部分的附近。也即, 该磁传感器结构非常复杂, 且难以制造。

10 图 49 是传统上知晓的磁传感器结构的截面示意图, 例如, 在日本专利申请公开第 H12-137906 号中所显示的。

图 49 所示的磁传感器包括: 由具有给定厚度的石英或硅晶片组成的衬底 201; 位于衬底 201 上由 GMR 元件构成的磁电阻元件 202; 位于衬底 201 上由非磁性材料构成的掩埋膜 203; 由永磁体膜构成的偏磁层 204, 该偏磁层与磁电阻元件 202 的两端相连, 且经由掩埋膜 203 设置在衬底 201 上; 覆盖磁电阻元件 202 和偏磁层 204 的所有表面的、由氧化硅膜构成的第一保护膜 205 和由氮化硅膜构成的第二保护膜 206。

第一保护膜 205 和第二保护膜 206 可以被统一称作保护膜 207。

20 在前述磁传感器中, 在磁电阻元件两端, 偏磁层 204 的所有上表面没有被磁电阻元件 202 的下表面完全覆盖。基于这个原因, 磁电阻元件 202 的连接方式是它悬于偏磁层 204 的部分上表面之上。这种磁传感器会引起保护膜 207 在偏磁层 204 和保护膜 207 之间的界面处分离, 例如在加热冷却循环试验(或热循环试验)过程中。因此需要提供一种具有足够高的环境耐久性的磁传感器。

25

发明内容

本发明要解决的技术问题是提供一种磁传感器, 可以精确测量外磁场的强度而不会破坏磁电阻膜的电阻与外磁场强度之间的线性关系(或线性度), 通过保持了磁电阻膜的自由层中的单轴各向异性能够以良好的重复性测量外磁场的强度, 并且可以用相对简单的制作工艺生产。

30 本发明要解决的另一技术问题是提供一种改进环境耐久性的磁传感器。

在本发明的第一方面，一种磁传感器包括一自旋阀型的磁电阻元件，磁电阻元件的两端与一由永磁体膜构成的偏磁层相连，其中形成一保护膜以覆盖磁电阻元件和偏磁层，该磁传感器的特征在于在磁电阻元件的两端磁电阻元件的下表面完全覆盖偏磁层的上表面。

- 5 在上述的结构中，优选地是磁电阻元件两端的侧面与偏磁层的侧面间的距离不超过3微米，其中该距离是从保护膜观察磁电阻元件在磁传感器的周缘部分中测量得到的。

- 在本发明的第二方面，一种磁传感器包括一个位于衬底上的自旋阀型的磁电阻元件，其中一个由永磁体膜构成的偏磁层与磁电阻元件的两端相连，并且设置一覆盖磁电阻元件和偏磁层的上表面的保护膜。其特征在于：在保护膜和偏磁层之间提供一中间层。

前述的磁传感器可以被局部改变使得磁电阻元件的两端设置成局部覆盖偏磁层，其中中间层被设置成与磁电阻元件、保护膜和偏磁层相关连，使得它完全覆盖偏磁层的上表面。

- 15 在上述的结构中，中间层可以被设置成覆盖偏磁层上表面的没有被磁电阻元件覆盖的部分。此外，中间层可设置成覆盖磁电阻元件的上表面和侧面。

- 在本发明的第三方面，一种磁传感器包括：多个磁电阻膜，均呈现出带状，这些磁电阻膜被设置成几乎互相平行；多个永磁体膜，其设置在磁电阻膜的两端附近，其中磁电阻膜的一端通过永磁体膜与相邻磁电阻膜连接，且磁电阻膜的另一端通过另一永磁体膜与相邻的磁电阻膜相连，从而磁电阻膜以乙字形图案接合永磁体膜。

在上述结构中，磁电阻膜由顺序叠置在衬底上的一钉扎层、一被钉扎层、一间隔层、和一自由层组成，其中自由层的单轴各向异性方向与磁电阻膜的纵向方向和永磁体膜的磁化方向相一致。

- 25 此外，永磁体膜被设计成按以下方式接合磁电阻膜：永磁体膜的配置的总形状比设定为1以上，且永磁体膜的纵向方向与磁电阻膜的纵向方向一致。

永磁体膜由一种导电材料构成，以确保在相邻磁电阻膜的相应端之间建立电连接。

- 在本发明的第四方面，一种磁传感器包括至少一个磁电阻元件（即 GMR 元件）和至少一个永磁体，它们均设置在衬底上，其中磁电阻元件包括一自由层、位于自由层上的间隔层和位于间隔层上的被钉扎层，其中磁电阻元件

的宽度在 6 微米到 8 微米之间，间隔层的厚度在 28 埃到 34 埃之间。优选地是自由层的厚度为 125 埃，且被钉扎层的厚度为 30 埃。

在上述的结构中，有可能在确保 GMR 元件高灵敏度的情况下抑制出现磁滞，其中可以在调整 GMR 元件尺寸的情况下，也即 GMR 元件的宽度、自由层的厚度、间隔层的厚度和被钉扎层的厚度，控制灵敏度方向（或灵敏度角度）。通过试验和研究确定，在适当地设定尺寸使得 GMR 元件的宽度在 6 微米到 8 微米之间、间隔层的厚度在 28 埃到 34 埃之间时，磁传感器的灵敏度可以提高同时抑制出现磁滞现象。这里，有可能将灵敏度方向的偏差降到近于 0。

上述磁传感器的特征在于在考虑 Cu 的灵敏度依赖的情况下，增加 GMR 元件的宽度和间隔层的厚度；因此有可能基本消除磁滞现象，该现象产生的原因在于减小了各向异性磁场（ H_k ）；并且因此有可能生产具有高灵敏度的磁传感器，其可以抑制灵敏度方向的偏差。也就是说，该磁场传感器可有效地作为一个磁方向传感器工作，例如，其方位测量精确度满足以度为单位的要求。

在本发明的第五方面，提供一种制作磁传感器的方法，其中，每个呈现带状的磁电阻元件（或 GMR 元件）设置在衬底上，且偏磁层设置在 GMR 元件的两端并与其相连，其中它主要包括三个步骤，即：第一步是在 GMR 元件上形成一抗蚀剂以便形成指定图案；第二步是使得抗蚀剂回流从而形成一具有倾斜形状的抗蚀剂膜；第三步是将离子束沿倾斜方向投射到衬底上以便对 GMR 元件进行研磨，从而带状 GMR 元件在其纵向方向的侧面成锥形。

在上面，在第三步后进行第四步，将离子束以垂直的方向投射到衬底上以便对 GMR 元件进行进一步地研磨。由于带状 GMR 元件的侧面成锥形，没有暴露在外磁场中的 GMR 元件的自由层的磁化方向被迫沿着带状 GMR 元件的纵向方向排列。

也即，由于带状 GMR 元件在纵向方向的侧面形成锥形，有可能阻止在 GMR 元件的两端形成磁壁(magnetic wall)（或边缘弯曲壁），有可能充分地控制 GMR 元件响应外磁场的磁各向异性；因此，有可能确保自由层的磁化均匀性，从而确保磁传感器响应外磁场的输出稳定性。于是，即使一个强磁场施加到磁传感器上，仍有可能使得磁传感器精确恢复初始状态在自由层中建立的原始磁化方向。

按照前述的磁传感器的制作方法,有可能提高磁传感器响应外磁场的输出稳定性,而不会大量改变 GMR 元件的结构和磁传感器的形成图形。

前述制作方法的特征在于:离子束沿倾斜方向入射到衬底上,以便对 GMR 元件进行研磨,从而有可能防止研磨掉的材料不期望地再次粘附到 GMR 元件上;因此有可能实现高度精确的加工,从而显著地提高制造产量。

附图说明

将参考下列附图详细介绍本发明的这些和其他目标、方面以及实施例,其中:

- 10 图 1 是一个截面示意图,显示按照本发明第一实施例的磁传感器的结构;
图 2A 是一个平面示意图,显示从保护膜方向看到的、包含在图 1 所示磁传感器中的磁电阻元件和偏磁层的布置;
图 2B 是平面示意图的一部分,显示偏磁层的周缘部分;
图 3 是显示在步骤 B-1 中制作第一实施例磁传感器所用结构的截面图;
15 图 4 是显示在步骤 B-2 中制作第一实施例磁传感器所用结构的截面图;
图 5 是显示在步骤 B-3 中制作第一实施例磁传感器所用结构的截面图;
图 6 是显示在步骤 B-4 中制作第一实施例磁传感器所用结构的截面图;
图 7 是显示在步骤 B-5 中制作第一实施例磁传感器所用结构的截面图;
图 8 是显示在步骤 B-9 中制作第一实施例磁传感器所用结构的截面图;
20 图 9 是显示在制作完成时制作第一实施例磁传感器所用结构的截面图;
图 10 是一截面示意图,显示按照本发明第二实施例的磁传感器的结构;
图 11 是一截面示意图,显示按照本发明第三实施例的磁传感器的结构;
图 12 是一截面示意图,显示按照本发明第四实施例的磁传感器的结构;
图 13 是显示在步骤 B-1 中制作第二实施例磁传感器所用结构的截面图;
25 图 14 是显示在步骤 B-2 中制作第二实施例磁传感器所用结构的截面图;
图 15 是显示在步骤 B-3 中制作第二实施例磁传感器所用结构的截面图;
图 16 是显示在步骤 B-4 中制作第二实施例磁传感器所用结构的截面图;
图 17 是显示在步骤 B-5 中制作第二实施例磁传感器所用结构的截面图;
图 18 是显示在步骤 B-9 中制作第二实施例磁传感器所用结构的截面图;
30 图 19 是显示步骤 B-11 中制作第二实施例磁传感器所用结构的截面图;
图 20 是显示步骤 B-12 中制作第二实施例磁传感器所用结构的截面图;

图 21 是一个平面示意图，显示在第二实施例的磁传感器中磁电阻元件和相连层的配置；

- 图 22 是显示在步骤 E-1 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 23 是显示在步骤 E-2 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
5 图 24 是显示在步骤 E-3 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 25 是显示在步骤 E-5 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 26 是显示在步骤 E-6 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 27 是显示在步骤 E-7 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 28 是显示在步骤 E-8 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
10 图 29 是显示步骤 E-12 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 30 是显示步骤 E-13 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 31 是显示步骤 E-14 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 32 是显示步骤 E-15 中制作第三实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 33 是一个平面示意图，显示第三实施例的磁传感器中磁电阻元件和
15 相关层的配置；

- 图 34 是显示在步骤 H-1 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 35 是显示在步骤 H-2 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 36 是显示在步骤 H-3 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 37 是显示在步骤 H-4 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
20 图 38 是显示在步骤 H-5 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 39 是显示在步骤 H-9 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 40 是显示步骤 H-11 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 41 是显示步骤 H-12 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 42 是显示步骤 H-13 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
25 图 43 是显示步骤 H-14 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 44 是显示步骤 H-15 中制作第四实施例磁传感器所用结构的截面图；
图 45 是一个平面示意图，显示第四实施例的磁传感器中磁电阻元件和
相连层的配置；

图 46 是一个工艺流程图，显示制作图 1 和图 10 中示出的按照本发明第一和第二实施例的磁传感器的步骤；

图 47 是一个工艺流程图，显示制作图 11 中示出的按照本发明第三实施

例的磁传感器的步骤;

图 48 是一个工艺流程图, 显示制作图 12 中示出的按照本发明第四实施例的磁传感器的步骤;

图 49 是一个截面示意图, 显示传统上知晓的磁传感器的结构;

5 图 50 是一个平面示意图, 显示按照本发明第五实施例的磁传感器的总体结构;

图 51 是显示图 50 所示的磁传感器中包括的 X 轴 GMR 元件的结构的平面示意图;

图 52 是沿图 51 中线 A-A 的截面图;

10 图 53 是沿图 51 中线 B-B 的截面图;

图 54 显示 X 轴 GMR 元件中使用的磁电阻膜的结构;

图 55 是显示与图 51 中所示的 X 轴 GMR 元件相比较经过修改的 X 轴 GMR 元件的结构的平面示意图;

图 56 是对应于样品 1 的 X 轴 GMR 元件的磁电阻特性的示图;

15 图 57 是对应于样品 1 和样品 3 的 X 轴 GMR 元件所建立的离散磁场稳定性的示图;

图 58 是示出对应于样品 2 的 X 轴 GMR 元件的结构的平面示意图;

图 59 是对应于样品 2 的 X 轴 GMR 元件的磁电阻特性的示图;

图 60 是示出对应于样品 3 的 X 轴 GMR 元件的结构的平面示意图;

20 图 61 示意性示出按照本发明第六实施例的用在磁传感器中的 GMR 元件的结构;

图 62 是一平面示意图, 显示按照第六实施例的使用沿 X 轴和 Y 轴分布的 GMR 元件的一个双轴磁传感器的结构;

图 63 是显示双轴磁传感器中 GMR 元件排列的平面示意图;

25 图 64 是一布线图, 示出了双轴磁传感器中形成的 GMR 元件的桥连接;

图 65 标绘当 GMR 元件的宽度在 6 微米到 10 微米之间变化时关于磁传感器的灵敏度值;

图 66 标绘当 GMR 元件的间隔层厚度改变时关于灵敏度方向的偏差值;

图 67 标绘当 GMR 元件的间隔层的厚度改变时关于灵敏度的数值;

30 图 68 是与构成 GMR 元件的各层厚度有关的灵敏度依从关系的示图;

图 69 是与构成 GMR 元件的各层厚度有关的灵敏轴依从关系的示图;

- 图 70 是与构成 GMR 元件的各层厚度有关的涉及翻转连接磁场 (H_{in}) 依从关系的示图;
- 图 71 显示了在 GMR 元件的宽度方向上影响自由层的磁场;
- 图 72 是显示影响 GMR 元件中自由层的磁场分量的透视图;
- 5 图 73 显示了影响自由层的磁场与 GMR 元件的灵敏度方向之间的关系;
- 图 74 显示了磁性薄膜与 MR 元件之间的尺寸关系;
- 图 75 是显示对应于本发明第七实施例的磁传感器的结构的平面示意图;
- 图 76 显示图 75 中所示的磁传感器所用 X 轴磁传感器的结构的平面图;
- 图 77 显示构成第七实施例的磁传感器的一 GMR 元件的结构;
- 10 图 78 是显示 GMR 元件的外部形貌的透视图;
- 图 79 是一个流程图, 显示制作第七实施例磁传感器的方法的步骤;
- 图 80 是显示处于制作第七实施例磁传感器的步骤 J2 的结构的截面图;
- 图 81 是显示处于制作第七实施例磁传感器的步骤 J3 的结构的截面图;
- 图 82 是显示处于制作第七实施例磁传感器的步骤 J4 的结构的截面图;
- 15 图 83 是显示处于制作第七实施例磁传感器的步骤 J5 的结构的截面图;
- 图 84 是显示处于制作第七实施例磁传感器的步骤 J6 的结构的截面图;
- 图 85 是显示处于制作第七实施例磁传感器的步骤 J10 的结构的截面图;
- 图 86A 是显示步骤 J10 和步骤 J11 后的 GMR 元件和抗蚀剂膜的平面图;
- 图 86B 是沿着图 86A 中的 C-C 线的截面图;
- 20 图 86C 是沿着图 86A 中的 D-D 线的截面图;
- 图 87A 是沿垂直方向入射离子束的、沿 D-D 线的 GMR 元件的截面图;
- 图 87B 是沿垂直方向入射离子束的、沿 C-C 线的 GMR 元件的截面图;
- 图 88A 是沿倾斜方向入射离子束的、沿 D-D 线的 GMR 元件的截面图;
- 图 88B 是沿倾斜方向入射离子束的、沿 C-C 线的 GMR 元件的截面图;
- 25 图 89A 是沿倾斜方向入射离子束的、沿 D-D 线的 GMR 元件的截面图;
- 图 89B 是沿倾斜方向入射离子束的、沿 C-C 线的 GMR 元件的截面图;
- 图 90 是显示经历步骤 J14 的 SiO_x 成膜的、沿 C-C 线的 GMR 的截面图;
- 图 91 显示外磁场和按照不同样品的磁传感器的输出变化之间的关系;
- 图 92 是显示 GMR 元件中自由层的磁化方向的平面图;
- 30 图 93A 是显示按照第七实施例的第一优化的、沿 C-C 线的 GMR 元件的截面图;

图 93B 是显示按照第七实施例的第一优化的、GMR 元件的配置图案的平面图;

图 94A 是显示按照第七实施例的第二优化的、沿 C-C 线的 GMR 元件的截面图;

5 图 94B 是显示按照第七实施例的第二优化的、GMR 元件的配置图案的平面图;

图 95A 是显示按照第七实施例的第三优化的、沿 C-C 线的 GMR 元件的截面图;

10 图 95B 是显示按照第七实施例的第三优化的、GMR 元件的配置图案的平面图;

图 96A 是显示按照第七实施例的第四优化的、沿 C-C 线的 GMR 元件的截面图;

图 96B 是显示按照第七实施例的第四优化的、沿 D-D 线的 GMR 元件的截面图; 以及

15 图 96C 是显示按照第七实施例的第四优化的、GMR 元件的配置图案的平面图。

具体实施方式

下面通过结合附图以实施例的方式进一步详细说明本发明。

20 1. 第一实施例

图 1 是一个截面图, 显示了按照本发明第一实施例的磁传感器的结构。图 2A 和 2B 提供了显示图 1 所示的磁传感器从保护膜方向看到的磁电阻元件的示意图, 其中图 2A 是全貌图, 图 2B 是示意图的一部分, 显示了偏磁体的周缘部分。

25 在图 1 中, 一种磁传感器 10 包括: 由给定厚度的石英或硅晶片组成的衬底 11; 位于衬底 11 上由 GMR 元件构成的磁电阻元件 12; 位于衬底 11 上由非磁性材料构成的掩埋膜 13; 由永磁体膜构成的偏磁层 14, 其连接磁电阻元件 12 的两端并通过掩埋膜 13 设置在衬底 11 上; 用来覆盖偏磁层 14 的全部上表面的第一保护膜 15; 和位于第一保护膜 15 上表面的第二保护膜 16。

30 第一保护膜 15 和第二保护膜 16 可被统一称作保护膜 17。

前述的磁传感器 10 的特征在于: 在磁电阻元件 12 的两端的下表面 12a

大致完全覆盖偏磁层 14 的上表面 14a。

前述的磁传感器 10 的技术特征即磁电阻元件 12 的下表面 12a 完全覆盖偏磁层 14 的上表面 14a 将参考图 2A 和 2B 进行描述。即，在图 2B 所示的偏磁层 14 的周缘部分 14d 处，磁电阻元件 12 的侧面 12b 与偏磁层 14 的侧面 14b 不在同一平面；磁电阻元件 12 的侧面 12c 与偏磁层 14 的侧面 14c 不在同一平面上；并且磁电阻元件 12 两端处的下表面 12a 覆盖偏磁层 14 的上表面 14a。

当从保护膜 17 观察磁电阻元件 12 时，关于偏磁层 14 的周缘部分 14d，在磁电阻元件 12 的两端其下表面 12a 以如下方式覆盖偏磁层 14 的上表面 14a：磁电阻元件 12 两端的侧面与偏磁层 14 的侧面之间的距离不超过 3 微米。也即，如图 2B 所示，在偏磁层 14 的周缘部分 14d，磁电阻元件 12 的侧面 12b 与偏磁层 14 的侧面 14b 之间的距离 d_1 和磁电阻元件 12 的侧面 12c 与偏磁层 14 的侧面 14c 之间的距离 d_2 均不超过 3 微米。

当磁电阻元件 12 两端的侧面与偏磁层 14 的侧面之间的距离超过 3 微米时，偏磁层 14 和保护膜 17 之间的结合力变得不足和变小；因此，当来自外部的剪切应力反复作用时，如加热冷却循环试验（或热循环试验）中，在偏磁层 14 和保护膜 17 之间的界面处会出现保护膜 17 的分离。

磁电阻元件 12 由以下层顺序叠放而组成：自由层、由铜（Cu）组成的具有导电性的间隔层、由钴-铁（CoFe）合金组成的被钉扎层、由铂-锰（Pt-Mn）合金组成的钉扎层、以及由钛（Ti）、钽（Ta）等的薄金属膜构成的帽层。

自由层随外磁场的方向改变其磁化方向。例如，它包括：一钴锆铌（CoZrNb）非晶磁性层、一叠置在 CoZrNb 非晶磁性层上的镍铁（NiFe）磁性层、和一叠置在 NiFe 磁性层上的钴铁（CoFe）层。

为保持自由层的单轴各向异性，偏磁层 14 在指定方向上施加偏磁场。CoZrNb 非晶磁性层和 NiFe 磁性层二者都是软铁磁性材料；并且采用 CoFe 层以防止 NiFe 磁性层中镍的扩散和间隔层中铜的扩散。

间隔层是由铜或者铜合金构成的一薄金属膜。

被钉扎层由钴铁（CoFe）磁性层制成。该 CoFe 磁性层以翻转连接（switched-connection）方式被反铁磁性膜支撑，因而它的磁化方向被钉扎（或被固定）。

钉扎层由叠置在 CoFe 磁性层上的、由 PtMn 合金（含有 45-55 摩尔百分

比的铂)组成的反铁磁性膜制成。

被钉扎层和钉扎层将统一称为钉层。

掩埋层 13 由厚度约为 40 纳米的铬 (Cr) 的薄金属膜制成。

偏磁层 14 由厚度约为 90 纳米的、由钴铂铬 (CoCrPt) 合金构成的薄金属膜制成。

第一保护膜 15 是一由氧化硅构成的薄膜 (以 SiO_x 膜提及)。

第二保护膜 16 是一由氮化硅构成的薄膜 (以 SiN 膜提及)。

下面, 将参考图 3 到图 9 和图 46 介绍本实施例的磁传感器的制作方法。

图 46 是一个流程图, 表示本实施例的磁传感器的制作方法中的步骤 A、B-1 到 B-13 和 C, 图 3 到图 9 以截面图的方式显示层状结构, 以解释本实施例的磁传感器的制作方法。

在制作方法中, 首先准备由石英或硅晶片组成的衬底 11。有可能事先在衬底 11 上制作用于控制磁传感器的 LSI 部分。也即, 在步骤 A (显示预处理工艺) 中, 用公知的方法形成晶体管器件、布线、绝缘膜和接触以形成一层保护膜, 其中形成一些开口用于连接。

接着, 如图 3 所示, 在由石英或者硅晶片构成的衬底 11 的上表面采用溅射方法形成厚度为 40 纳米左右的铬的掩埋膜 13。接着, 在掩埋膜 13 的上表面采用溅射的方法制备一偏磁层 14, 该层由钴铂铬合金组成, 厚度为 90 纳米 (见 B-1 步骤)。

接着, 如图 4 所示, 以旋涂或者浸涂的方法在偏磁层 14 的上表面形成一随机厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面设置一块具有假定图形的掩模, 随后进行曝光和显影工艺, 使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除。接着, 加热光致抗蚀剂使其回流, 如此产生其两端发生弯曲的抗蚀剂膜 20 (见 B-2 步骤)。

接着, 如图 5 所示, 执行离子研磨以便部分去除掩埋膜 13 和偏磁层 14 中没有被抗蚀剂膜 20 覆盖的部分, 由此掩埋膜 13 和偏磁层 14 形成预定的形状 (见 B-3 步骤)。在 B-3 步骤中, 由于抗蚀剂膜 20 的两端呈弯曲形状, 采用离子研磨 (ion milling) 使得掩埋膜 13 和偏磁层 14 的侧面倾斜于衬底 11。

接着, 如图 6 所示, 采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 等去除抗蚀剂膜 20, 使得偏磁层 14 的表面经历清洗以便彻底去除抗蚀剂膜 20 (见 B-4 步骤)。

接着,如图7所示,在衬底11的上表面、掩埋膜13的侧面和偏磁层14的上表面和侧面执行离子束溅射方法或者磁控溅射方法,于是制备一磁电阻元件12(见B-5步骤)。

接着,在外部空间中排列的磁阵列(未显示)被设置在对应于偏磁层14的指定位置,由此,磁场以指定的方向施加到磁电阻元件12的钉层上(见B-6步骤)。

接着,磁阵列和偏磁层14被固定在指定的布置,将它们放置在真空状态下,然后在280°C加热四小时。也即,对磁电阻元件12的钉层中的钉扎层进行归一化热处理(见B-7步骤)。

接着,将磁阵列从指定位置移去(见B-8步骤)。

然后,如图8所示,以旋涂或者浸涂的方法在磁电阻元件12的上表面形成一随机厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面设置一块具有假定图形的掩模,随后进行曝光和显影工艺,使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除。接着,加热光致抗蚀剂使其回流,如此产生一层两端发生弯曲的抗蚀剂膜21(见B-9步骤)。

接着,执行离子研磨以便部分去除磁电阻元件12中没有被抗蚀剂膜21覆盖的部分,也即磁电阻元件12形成指定的形状(见B-10步骤)。在B-10步骤中,由于抗蚀剂膜21两端呈弯曲形状,采用离子研磨的方法使得磁电阻元件12的侧面倾斜于衬底11。

接着,采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone去除抗蚀剂膜21,使得磁电阻元件12的表面经历清洗以便完全去除抗蚀剂膜21(见B-11步骤)。

接着,采用等离子CVD(即,Chemical Vapor Deposition,化学气相沉积)的方法在磁电阻元件12的表面形成厚度约为150纳米的、由氧化硅膜组成的第一保护膜15(见B-12步骤)。

接着,采用等离子体CVD方法在第一保护膜15的表面形成由厚度约为300纳米的氮化硅膜组成的第二保护膜16(见B-13步骤)。

顺便提及一下,也可以在第一保护膜15和第二保护膜16上再形成一层由聚酰亚胺树脂构成的第三保护膜。

接着,在C步骤,在第一保护膜15和第二保护膜16的指定位置形成开口;在此处形成衬垫;然后,晶片进行划片并分解成单个芯片,每个芯片用树脂包封。

接下来,将详细描述磁传感器样品,然而本实施例并非仅限于下列样品。

按照本实施例的制作方法,实际生产了多种磁传感器样品,每个样品含有厚度为5纳米的磁电阻元件。

具体地,通过分别改变距离 d 为1微米、2微米和3微米,制作了三种磁传感器,其中,在偏磁层的周缘部分中,从保护膜方向(或其上表面)观察磁电阻元件时,磁电阻元件两端的侧面和偏磁层的侧面之间的距离设定为 d 。此外,使用前述的磁传感器样品进行了塑模封装。

(1) 附着性测试

用修补带(由Scotch 3M公司生产)粘接到磁传感器的上表面(也即设置有保护膜的磁传感器的表面);接着修补带被剥掉,并检查在磁传感器中的偏磁层和保护膜间的界面处是否出现分离。对一百个磁传感器样品进行了相同的实验,以计算在所述界面处出现分离的样品数目,结果在表1中列出。

(2) 加热冷却循环试验

将塑模封装的磁传感器在严格的环境条件下进行加热冷却循环试验,其中样品在 -65°C 保持30分钟;然后在5分钟内升温到室温;样品在室温保持30分钟;然后在5分钟内升温到 150°C ;样品在 150°C 保持30分钟;然后在5分钟内降温到室温;在室温保持30分钟;然后在5分钟内降温到 -65°C 。这里,每个磁传感器样品经过500次前述的加热冷却循环试验。

之后,用发烟硝酸腐蚀,打开塑模封装,以检验在磁传感器的偏磁层和保护膜的界面处是否出现分离。对二十个磁传感器的塑模封装样品进行了相同的试验,以计算在所述的界面处出现分离的样品数目。结果在表1中列出。

在上面,磁传感器的比较样品采用本实施例的制作方法制作,其中每个样品包含厚度为50纳米的磁电阻元件。

也即,磁传感器的各比较样品被制造成将距离 d 设定为15微米,其中,在偏磁层的周缘部分中,从保护膜方向观察磁电阻元件,磁电阻元件两端的侧面和偏磁层的侧面之间的距离设定为 d 。

对前面所述的磁传感器的比较样品进行塑模封装。

然后,如同前面的磁传感器样品一样,对封入磁传感器的比较样品的塑模封装进行粘附性试验和加热冷却循环试验,结果在表1中列出。

表 1

	距离 d (微米)	粘附性试验 (每 100 个样品中的样品数)	加热冷却循环试验 (每 20 个样品中的样品数)
样品 A	1	0	0
样品 B	2	2	0
样品 C	3	2	0
比较样品	15	32	7

表 1 的结果清楚地表明在每个按照本实施例制作的磁传感器的前述样品中, 偏磁层与保护膜之间的粘附性有较大提高, 且表现出优异的环境耐久性。

5 相比较, 在磁传感器的比较样品中, 偏磁层与保护膜之间的粘附性不足, 且环境耐久性较差。

如上所述, 本实施例的特征在于偏磁层的上表面被磁电阻元件两端的下表面完全覆盖, 从而有可能提高偏磁层和保护膜之间的粘附性, 有可能改善环境耐久性 (尤其是耐温度变化能力), 因此也有可能提高其在磁场中使用的可靠性。

2、第二实施例

图 10 是一个截面图, 显示了按照本发明第二实施例的磁传感器的结构。

图 10 所示的磁传感器 110 包括: 由给定厚度的石英或硅晶片构成的衬底 111, 位于衬底 111 上由一 GMR 元件构成的磁电阻元件 112, 位于衬底 111 上由一非磁性材料构成的掩埋膜 113, 由一永磁体膜构成的偏磁层 114, 该层经由掩埋膜 113 设置在衬底 111 上并分别连接磁电阻元件 112 的两端, 用来完全覆盖磁电阻元件 112 和偏磁层 114 的第一保护膜 115, 用于覆盖第一保护膜 115 的上表面的第二保护膜 116, 以及位于偏磁层 114 和第一保护膜 115 之间以便完全覆盖偏磁层 114 的上表面 114a 的中间层 118。

20 第一保护膜 115 和第二保护膜 116 可被统一称作保护膜 117。

在前述的磁传感器 110 中, 中间层 118 由诸如铬 (Cr)、钽 (Ta) 和钛 (Ti) 等组成的薄金属膜制成。

优选地是, 中间层 118 的厚度在 5 纳米到 15 纳米之间。

25 当中间层 118 的厚度小于 5 纳米时, 偏磁层 114 和保护膜 117 之间的结合力变得不足; 因此当来自外部的剪切应力反复作用到磁传感器时, 如在加

热冷却循环试验中，偏磁层 114 和保护膜 117 之间的界面有可能出现保护膜 117 的分离。

另一方面，当中间层 118 的厚度大于 15 纳米时，对于偏磁层 114 来说难以在指定的方向对磁电阻元件 112 施加偏磁场(bias magnetic field)。

- 5 磁电阻元件 112 由以下层顺序叠放而组成：自由层、由铜 (Cu) 组成的导电性间隔层、由钴 - 铁 (CoFe) 合金组成的被钉扎层、由铂 - 锰 (PtMn) 合金组成的钉扎层和由诸如钽的薄金属膜构成的帽层。

- 自由层可以随外加磁场的方向改变其磁化方向。例如，它包括：一钴锆铌 (CoZrNb) 非晶磁性层、一位于 CoZrNb 非晶磁性层上的镍铁 (NiFe) 磁性层和一位于 NiFe 磁性层上的钴铁 (CoFe) 层。

为保持自由层的单轴各向异性，偏磁层 114 在指定方向上施加一偏磁场。CoZrNb 非晶磁性层和 NiFe 磁性层二者都是软铁磁性材料；并采用 CoFe 层以防止 NiFe 磁性层中镍的扩散和间隔层中铜的扩散。

间隔层是由铜或者铜合金构成的薄金属膜。

- 15 被钉扎层由钴铁 (CoFe) 磁性层构成。该 CoFe 磁性层以翻转连接 (switched-connection) 方式被反铁磁性膜支撑，因而其磁化方向被钉扎 (或被固定)。

钉扎层由位于 CoFe 磁性层上、由 PtMn 合金 (铂含量为 45-55 摩尔百分比) 构成的反铁磁性膜制成。

- 20 被钉扎层和钉扎层将统一称为钉层。

掩埋层 113 由厚度约为 40 纳米的铬 (Cr) 的金属薄膜制成。

偏磁层 114 由厚度约为 90 纳米的、由钴铂铬 (CoCrPt) 合金组成的金属薄膜制成。

第一保护膜 115 是一由氧化硅组成的薄膜 (以 SiO_x 膜指代)。

- 25 第二保护膜 116 是一由氮化硅组成的薄膜 (以 SiN 膜指代)。

3、第三实施例

图 11 是一个截面图，显示了按照本发明第三实施例的磁传感器的结构。

- 30 图 11 所示的磁传感器 120 包括：由给定厚度的石英或硅晶片组成的衬底 121，位于衬底 121 上由一 GMR 元件构成的磁电阻元件 122，位于衬底 121 上由一非磁性材料构成的掩埋膜 123，由一永磁体膜构成的偏磁层 124，该层通过掩埋膜 123 设置在衬底 121 上并分别连接磁电阻元件 122 的两端，

用来完全覆盖磁电阻元件 122 和偏磁层 124 的第一保护膜 125, 用来覆盖第一保护膜 125 的上表面的第二保护膜 126, 以及完全覆盖偏磁层 124 的上表面 124a 中没有被磁电阻元件 122 覆盖的部分的中间层 128。

第一保护膜 125 和第二保护膜 126 可被统一称作保护膜 127。

- 5 用保护膜 127 覆盖磁电阻元件 122 和偏磁层 124 意味着保护膜 127 完全覆盖这两层, 没有留出连接用开口。

在上面, 中间层 128 完全覆盖偏磁层 124 的上表面 124a 中没有被磁电阻元件 122 覆盖的部分产生以下效果。也即, 当从其上表面(即从保护膜 127)观察磁电阻元件 122 时, 磁电阻元件 122 的侧面 122a 和中间层 128 的侧面 10 128a 之间没有空隙, 因而偏磁层 124 没有暴露在外, 或者在磁电阻元件 122 的侧面 122a 和中间层 128 的侧面 128a 之间基本没有形成空隙。

优选地是, 磁电阻元件 122 的侧面 122a 和中间层 128 的侧面 128a 之间的距离不超过 3 微米。

当磁电阻元件 122 的侧面 122a 和中间层 128 的侧面 128a 之间的距离超过 3 微米时, 偏磁层 124 和保护膜 127 之间的结合力变得不足, 使得在加热冷却循环试验等中当来自外部的剪切应力反复施加到磁传感器上时, 在偏磁层 114 和保护膜 117 之间的界面处可能出现保护膜 117 的分离。

磁电阻元件 122 由以下层顺序叠放而组成: 自由层、由铜 (Cu) 组成的导电性间隔层、由钴-铁 (CoFe) 合金组成的被钉扎层、由铂-锰 (Pt-Mn) 合金组成的钉扎层和由如钽的薄金属膜构成的帽层。也即, 磁电阻元件 122 具有与前述图 10 中所示的磁电阻元件 112 类似的结构。

掩埋膜 123 是厚度约 40 纳米的铬的金属薄膜。

偏磁层 124 是厚度约 90 纳米的、由钴铂铬 (CoCrPt) 合金组成的金属薄膜。

25 第一保护膜 125 是一由氧化硅组成的薄膜 (以 SiO_x 膜指代)。

第二保护膜 126 是一由氮化硅组成的薄膜 (以 SiN 膜指代)。

中间层 128 是由如铬 (Cr)、钽 (Ta) 和钛 (Ti) 组成的金属薄膜。

4、第四实施例

图 12 是一个截面图, 显示了按照本发明第四实施例的磁传感器的结构。

30 图 12 所示的磁传感器 130 包括: 由给定厚度的石英或硅晶片构成的衬底 131, 位于衬底 131 上由一 GMR 元件构成的磁电阻元件 132, 位于衬底

131 上由一非磁性材料构成的掩埋膜 133, 由一永磁体膜构成的偏磁层 134, 该层通过掩埋膜 123 设置在衬底 131 上并分别连接磁电阻元件 132 的两端, 用来完全覆盖磁电阻元件 132 和偏磁层 134 的第一保护膜 135, 用来覆盖第一保护膜 135 的上表面的第二保护膜 136, 以及完全覆盖偏磁层 134 的上表面 134a 中没有被磁电阻元件 132 覆盖的部分的中间层 138, 中间层 138 还覆盖磁电阻元件 132 两端的侧面 132b 以及磁电阻元件 132 的上表面 132a 的一部分。

第一保护膜 135 和第二保护膜 136 可被统一称作保护膜 137。

中间层 138 完全覆盖偏磁层 134 的上表面 134a 中没有被磁电阻元件 132 覆盖的部分具有以下作用。也即, 当从保护膜 137 观察中间层 138 时, 中间层 138 的侧面 138a 和偏磁层 134 的侧面 134b 不在同一平面上, 并且偏磁层 134 的上表面 134a 被中间层 138 的下表面 138b 覆盖。

在磁传感器 130 中, 中间层 138 的下表面 138b 以如下方式覆盖偏磁层 134 的上表面 134a: 从保护膜 137 方向观察中间层 138, 偏磁层 134 的侧面 134b 与中间层 138 的侧面 138a 之间的间隙不超过 1 微米。

当中间层 138 的侧面 138a 与偏磁层 134 的侧面 134b 之间的距离超过 1 微米时, 偏磁层 134 和保护膜 137 之间的结合力变得不足和变小; 因此当在加热冷却循环试验等中来自外部的剪切应力反复作用到磁传感器上时, 在偏磁层 134 和保护膜 137 之间的界面处可能出现保护膜 137 的分离。

磁电阻元件 132 由以下层顺序叠放而组成: 自由层、由铜 (Cu) 组成的导电性间隔层、由钴-铁 (CoFe) 合金组成的被钉扎层、由铂-锰 (PtMn) 合金组成的钉扎层和由如钽 (Ta) 的薄金属膜构成的帽层。也即, 磁电阻元件 132 具有与前述图 10 中所示的磁电阻元件 112 类似的结构。

掩埋膜 133 是厚度约 40 纳米的铬的金属薄膜。

偏磁层 134 是厚度约 90 纳米的、由钴铂铬 (CoCrPt) 合金组成的薄膜。

第一保护膜 135 是一由氧化硅组成的薄膜 (以 SiO_x 膜指代)。

第二保护膜 136 是一由氮化硅组成的薄膜 (以 SiN 膜指代)。

中间层 138 是由如铬 (Cr)、钽 (Ta) 和钛 (Ti) 组成的金属薄膜。

5、制作方法

(1) 第二实施例的制作方法

图 10 所示的第二实施例的磁传感器 110 的制作方法将参照图 46 和图 13 到 21 进行详细描述。第二实施例的制作方法参考图 3 到 9 和图 46 描述的第一实施例的前述制作方法部分类似。

图 46 是一个流程图，显示第二实施例的磁传感器的制作方法的步骤。

5 图 13 到图 20 以截面图的方式显示层状结构，以解释第二实施例的磁传感器的制作方法，及图 21 是显示磁电阻元件 112 和相关层的配置的平面示意图。

在制作方法中，首先准备由石英或硅晶片组成的衬底 111。有可能事先在衬底 111 上制作大规模集成电路部分以控制磁传感器。也即，在步骤 A(显示预处理工艺)中，用公知的方法形成晶体管器件、布线、绝缘膜和接触以
10 形成一保护膜，其中形成一些开口用于连接。

接着，如图 13 所示，在由石英或者硅晶片组成的衬底 111 的上表面采用溅射方法形成厚度约为 40 纳米左右的铬的掩埋膜 113。接着，在掩埋膜 113 的上表面采用溅射方法制备一偏磁层 114，该层由钴铂铬合金组成，厚度为 90 纳米。随后，在偏磁层 114 的上表面用溅射方法制备一由铬组成的
15 中间层 118，其厚度在 5 纳米到 15 纳米之间(见 B-1 步骤)。

接着，如图 14 所示，以旋涂或者浸涂的方法在中间层 118 的上表面形成一层随机厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面放置一块具有假定图形的掩模，随后进行曝光和显影工艺，使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除。接着，加热光致抗蚀剂产生回流，如此产生一层两端发生弯曲的抗蚀剂膜 140
20 (见 B-2 步骤)。

接着，如图 15 所示，采用离子研磨以便部分去除掩埋膜 113、偏磁层 114 和中间层 118 中没有被抗蚀剂膜 140 覆盖的部分，由此掩埋膜 113、偏磁层 114 和中间层 118 形成预定的形状(见 B-3 步骤)。在 B-3 步骤中，相应于抗蚀剂膜 140 两端的弯曲形状执行离子研磨，使得掩埋膜 113、偏磁层
25 114 和中间层 118 的侧面倾斜于衬底 111。位于磁电阻元件 112 两端附近的偏磁层 114 的指定部分作为建立与磁电阻元件 112 电连接的引线，其中它们的一部分可被充分定形以便设置在用于连接的开口上。

接着，如图 16 所示，采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 去除抗蚀剂膜 140，使得偏磁层 114 的表面经历清洗以便完全去除抗蚀剂膜 140(见
30 B-4 步骤)。

接着，如图 17 所示，在衬底 111 的上表面、掩埋膜 113 和偏磁层 114

的侧面以及中间层 118 的上表面和侧面,采用离子束溅射或者磁控溅射的方法制备一磁电阻元件 112 (见 B-5 步骤)。

接着,将在外部空间排列的磁阵列(未显示)设置在对应于偏磁层 114 的指定位置,从而,磁场以指定的方向施加到磁电阻元件 112 的钉层上(见 5 B-6 步骤)。

接着,磁阵列和偏磁层 114 以指定的布置被固定,将它们放置在真空状态中,然后在 280°C 加热四小时。也即,对磁电阻元件 112 的钉层中的钉扎层进行归一化热处理(见 B-7 步骤)。

接着,将磁阵列从指定位置移去(见 B-8 步骤)。

10 接着,如图 18 所示,以旋涂或者浸涂的方法在磁电阻元件 112 的上表面形成一随机厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面放置一块具有一定图形的掩模,随后进行曝光和显影工艺,使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除。接着,加热光致抗蚀剂产生回流,如此产生一两端发生弯曲的抗蚀剂膜 141 (见 B-9 步骤)。

15 接着,采用离子研磨以便部分去除磁电阻元件 112 中没有被抗蚀剂膜 141 覆盖的部分,也即磁电阻元件 112 形成指定的形状(见 B-10 步骤)。在 B-10 步骤中,由于抗蚀剂膜 141 两端呈弯曲形状,采用离子研磨使得磁电阻元件 112 的侧面倾斜于衬底 111。

20 接着,如图 19 所示,采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 去除抗蚀剂膜 141,使得磁电阻元件 112 的表面进行清洗以便完全去除抗蚀剂膜 141 (见 B-11 步骤)。

接着,如图 20 所示,采用等离子 CVD 方法在衬底 111、磁电阻元件 112 和中间层 118 的上表面形成厚度约为 150 纳米、由氧化硅膜组成的第一保护膜 115 (见 B-12 步骤)。

25 图 21 是从磁电阻元件 112 的上表面看到的示意图,其中为简化起见第一保护膜 115 没有画出来。

接着,采用等离子 CVD 方法在第一保护膜 115 的表面形成厚度约为 300 纳米、由氮化硅膜组成的第二保护膜 116 (见 B-13 步骤)。

30 顺便提及一下,也可在第一保护膜 115 和第二保护膜 116 上进一步形成一由聚酰亚胺树脂构成的第三保护膜。

接着,在 C 步骤,在第一保护膜 115 和第二保护膜 116 的指定位置形成

开口；在此处形成衬垫；然后，晶片进行划片并分解成单个芯片，每个芯片用一树脂包封。

(2) 第三实施例的制作方法

图 11 所示的第三实施例的磁传感器 120 的制作方法将参照图 47 和图 22 到 33 进行详细描述。

图 47 是一个流程图，显示第三实施例的磁传感器的制作方法中的步骤 D、E-1 到 E-16 和 F。图 22 到图 32 以截面图的方式显示多层结构，以解释第三实施例的磁传感器的制作方法，且图 33 是显示磁电阻元件 122 和相关层的排列方式的平面示意图。

10 在制作方法中，首先准备由石英或硅晶片组成的衬底 121。有可能事先在衬底 121 上制作大规模集成电路部分以控制磁传感器。也即，在步骤 D(显示预处理工艺)中，用公知的方法形成晶体管器件、布线、绝缘膜和接触以形成一层保护膜，其中形成一些开口用于连接。

15 接着，如图 22 所示，在由石英或者硅晶片组成的衬底 121 的上表面采用溅射的方法形成厚度约为 40 纳米左右的铬的掩埋膜 123。接着，在掩埋膜 123 的上表面采用溅射的方法制备一偏磁层 124，该层由钴铂铬合金组成，其厚度为 90 纳米。

随后，在偏磁层 124 的上表面用溅射的方法制备一由铬组成的中间层 128，其厚度在 5 纳米到 15 纳米之间(见 E-1 步骤)。

20 接着，如图 23 所示，以旋涂或者浸涂的方法在中间层 128 的上表面形成一具有随机厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面放置一块具有一定图形的掩模，随后进行曝光和显影工艺，使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除。接着，加热光致抗蚀剂产生回流，如此产生一层两端发生弯曲的抗蚀剂膜 150(见 E-2 步骤)。

25 接着，如图 24 所示，采用离子研磨以便部分去除中间层 128 中没有被抗蚀剂膜 150 覆盖的部分，由此露出偏磁层 124，于是中间层 128 形成预定的形状(见 E-3 步骤)。在 E-3 步骤中，由于抗蚀剂膜 150 的两端呈弯曲形状，采用离子研磨的方法使得中间层 128 的侧面倾斜于衬底 121。

30 接着，采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 去除抗蚀剂膜 150，使得中间层 128 的表面进行清洗以便完全去除抗蚀剂膜 150(见 E-4 步骤)。

接着，如图 25 所示，在部分去除中间层 128 的偏磁层 124 的上表面和

中间层 128 的上表面,采用旋涂或者浸涂的方法形成一层随意厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面放置一块具有一定图形的掩模,随后进行曝光和显影工艺,使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除。接着,加热光致抗蚀剂产生回流,如此产生一层两端发生弯曲的抗蚀剂膜 151 (见 E-5 步骤)。

5 接着,如图 26 所示,采用离子研磨去除掩埋膜 123、偏磁层 124 和中间层 128 中没有被抗蚀剂膜 151 覆盖的指定部分,使得衬底 121 部分露出,由此掩埋膜 123、偏磁层 124 和中间层 128 形成预定的形状(见 E-6 步骤)。在 B-6 步骤中,对应于抗蚀剂膜 151 两端的弯曲形状执行离子研磨,使得掩埋膜 123、偏磁层 124 和中间层 128 的侧面倾斜于衬底 121。

10 接着,如图 27 所示,采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 去除抗蚀剂膜 151,使得偏磁层 124 和中间层 128 的表面进行清洗以便完全去除抗蚀剂膜 151 (见 E-7 步骤)。

接着,如图 28 所示,在衬底 121 的上表面、掩埋膜 123 和偏磁层 124 的侧面以及中间层 128 的上表面和侧面,采用离子束溅射或者磁控溅射的方法制备一磁电阻元件 122,如 GMR 元件(见 E-9 步骤)。

15 接着,磁阵列与偏磁层 124 按照指定排列固定,将它们放置在真空状态中,然后在 280°C 加热四小时。也即,对磁电阻元件 122 的钉层中的钉扎层进行归一化热处理(见 E-10 步骤)。

接着,将磁阵列从指定位置移去(见 E-11 步骤)。

20 接着,如图 29 所示,在磁电阻元件 122 中其下不存在中间层 128 的选定区域的上表面,以旋涂或者浸涂的方法形成一层随机厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面放置一块具有一定图形的掩模,随后进行曝光和显影工艺,使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除。接着,加热光致抗蚀剂产生回流,如此产生一层两端发生弯曲的抗蚀剂膜 152 (见 E-12 步骤)。

25 接着,如图 30 所示,采用离子研磨以便部分去除磁电阻元件 122 中没有被抗蚀剂膜 152 覆盖的部分,使得衬底 121、掩埋膜 123 和偏磁层 124 的侧面以及中间层 128 露出,从而形成指定形状的磁电阻元件 122 (见 E-13 步骤)。在 E-13 步骤中,对应于抗蚀剂膜 152 两端的弯曲形状采用离子研磨,使得磁电阻元件 122 的侧面倾斜于衬底 121。

30 接着,如图 31 所示,采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 去除抗蚀剂膜 152,使得磁电阻元件 122 的表面进行清洗以便完全去除抗蚀剂膜 152

(见 E-14 步骤)。

接着,如图 32 所示,采用等离子 CVD 方法在衬底 121、磁电阻元件 122 和中间层 128 的上表面形成厚度约为 150 纳米、由氧化硅膜组成的第一保护膜 125 (见 E-15 步骤)。

- 5 图 33 是从磁电阻元件 122 的上表面看到的示意图,其中为简化起见第一保护膜 125 没有画出来。

接着,采用等离子 CVD 方法在第一保护膜 125 的表面形成厚度约为 300 纳米、由氮化硅膜组成的第二保护膜 126 (见 E-16 步骤)。

- 10 顺便提及一下,也可在第一保护膜 125 和第二保护膜 126 上进一步形成一层由聚酰亚胺树脂构成的第三保护膜。

接着,在 F 步骤,在第一保护膜 125 和第二保护膜 126 的指定位置形成开口;在此处形成衬垫;然后,晶片进行划片并分解成单个芯片,每个芯片用一树脂包封。

(3) 第四实施例的制作方法

- 15 图 12 所示的第四实施例的磁传感器 130 的制作方法将参照图 48 和图 34 到 45 进行详细描述。

- 20 图 48 是一个流程图,显示第四实施例的磁传感器的制作方法中的步骤 G、H-1 到 H-16 和 I。图 34 到图 44 以截面图的方式显示多层结构,以解释第四实施例的磁传感器的制作方法,且图 45 是显示磁电阻元件 132 和相关层的排列方式的平面示意图。

在制作方法中,首先准备由石英或硅晶片组成的衬底 131。有可能事先在衬底 131 上制作大规模集成电路部分以控制磁传感器。也即,在步骤 G(显示预处理工艺)中,用公知的方法形成晶体管器件、布线、绝缘膜和接触以形成一层保护膜,其中形成一些开口用于连接。

- 25 接着,如图 34 所示,在由石英或者硅晶片构成的衬底 131 的上表面采用溅射的方法形成厚度约为 40 纳米左右的铬的掩埋膜 133。接着,在掩埋膜 133 的上表面采用溅射的方法制备一偏磁层 134,该层由钴铂铬合金组成,其厚度为 90 纳米(见 H-1 步骤)。

- 30 接着,如图 35 所示,以旋涂或者浸涂的方法在偏磁层 134 的上表面形成一层随机厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面放置一块具有一定图形的掩模,随后进行曝光和显影工艺,使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除。

接着,加热光致抗蚀剂产生回流,如此产生一层两端发生弯曲的抗蚀剂膜 160 (见 H-2 步骤)。

接着,如图 36 所示,采用离子研磨以便部分去除掩埋膜 133 和偏磁层 134 中没有被抗蚀剂膜 160 覆盖的部分,由此露出衬底 131,于是掩埋膜 133 和偏磁层 134 形成预定的形状(见 H-3 步骤)。在 H-3 步骤中,相应于抗蚀剂膜 160 两端的弯曲形状执行离子研磨,使得掩埋膜 133 和偏磁层 134 的侧面倾斜于衬底 131。

接着,如图 37 所示,采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 去除抗蚀剂膜 160,使得偏磁层 134 的表面进行清洗以便完全去除抗蚀剂膜 160(见 H-4 步骤)。

接着,如图 38 所示,在部分去除掩埋膜 133 和偏磁层 134 后露出的衬底 131 的上表面,采用离子束溅射或者磁控溅射的方法制备一磁电阻元件 132,例如 GMR 元件(见 H-5 步骤)。

接着,将在外部空间排列的磁阵列设置在与偏磁层 134 相对应的指定位置,由此,磁场以指定的方向施加到磁电阻元件 132 的钉层上(见 H-6 步骤)。

接着,磁阵列和偏磁层 134 以指定的布置被固定,将它们放置在真空状态中,然后在 280°C 加热四小时。于是,对磁电阻元件 132 的钉层中的钉扎层进行归一化热处理(见 H-7 步骤)。

接着,将磁阵列从指定位置移去(见 H-8 步骤)。

接着,如图 39 所示,在其下存在偏磁层 134 的磁电阻元件 132 的选定区域的上表面,以旋涂或者浸涂的方法形成一层随机厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面放置一块具有一定图形的掩模,随后进行曝光和显影工艺,使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除。接着,加热光致抗蚀剂产生回流,如此产生一层两端发生弯曲的抗蚀剂膜 161(见 H-9 步骤)。

接着,采用离子研磨以便部分去除磁电阻元件 132 中没有被抗蚀剂膜 161 覆盖的部分,使得衬底 131 和偏磁层 134 局部露出,于是磁电阻元件 132 形成指定的形状(见 H-10 步骤)。在 H-10 步骤中,对应于抗蚀剂膜 161 两端的弯曲形状采用离子研磨,使得磁电阻元件 132 的侧面倾斜于衬底 131。

接着,如图 40 所示,采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 去除抗蚀剂膜 161,使得磁电阻元件 132 的表面进行清洗以便完全去除抗蚀剂膜 161(见 H-11 步骤)。

接着,如图 41 所示,在衬底 131 的整个上表面、偏磁层 134 的部分上表面和侧面以及除端部外的磁电阻元件 132 的整个上表面,以旋涂或者浸涂的方法形成一层随机厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面放置一块具有一定图形的掩模,随后进行曝光和显影工艺,使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除,于是按预定的形状形成一抗蚀剂膜 162 (见 H-12 步骤)。

接着,如图 42 所示,在磁电阻元件 132 的上表面和两端侧面、偏磁层 134 的上表面以及抗蚀剂膜 162 的上表面,采用溅射的方法制备一中间层 138 (见 H-13 步骤)。

接着,如图 43 所示,采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 等去除抗蚀剂膜 162,使得衬底 131、磁电阻元件 132 和中间层 138 的表面进行清洗以便完全去除抗蚀剂膜 162 (见 H-14 步骤)。

接着,如图 44 所示,采用等离子 CVD 方法在衬底 131、磁电阻元件 132 和中间层 138 的上表面形成由氧化硅膜组成的、厚度约为 150 纳米的第一保护膜 135 (见 H-15 步骤)。

图 45 是从磁电阻元件 132 的上表面看到的示意图,其中为简化起见第一保护膜 135 没有画出来。

接着,采用等离子 CVD 方法在第一保护膜 135 的表面形成厚度约为 300 纳米、由氮化硅膜组成的第二保护膜 136 (见 H-16 步骤)。

顺便提及一下,也可在第一保护膜 135 和第二保护膜 136 上进一步形成一由聚酰亚胺树脂构成的第三保护膜。

接着,在 I 步骤,在第一保护膜 135 和第二保护膜 136 的指定位置形成开口;在此处形成衬垫;然后,晶片进行划片并分解成单个芯片,每个芯片用一树脂包封。

接着,将采用各种样品来进一步描述前述的实施例;当然,本发明并不仅限于这些实施例。

也即,按照前述的实施例中的制作方法,多种磁传感器样品以预定的尺寸被实际生产出来,其中各磁电阻元件的宽度为 7.5 微米,相邻磁电阻元件的间距为 3 微米,且偏磁层的宽度为 18 微米。

在前述的磁传感器中,偏磁层上形成的中间层厚度为 5 纳米,从没有与磁电阻元件接合的偏磁层端部测量的中间层长度为 3 微米。然后,这些生产出来的磁传感器样品被塑模封装。

(1) 附着性测试

用一块修补带(由 Scotch 3M 公司生产)粘接到磁传感器的上表面(也即设置有保护膜的磁传感器表面);接着修补带被剥掉,以试验在磁传感器中偏磁层和保护膜的界面处是否出现分离。对一百个磁传感器样品进行了相同的试验,以计算在前述的界面处出现分离的样品数目。

(2) 加热冷却循环试验

经过塑模封装的磁传感器在严格的环境条件下进行加热冷却循环试验,其中样品在 -65°C 保持 30 分钟;然后在 5 分钟内升温到室温;样品在室温保持 30 分钟;然后在 5 分钟内升温到 150°C ;样品在 150°C 保持 30 分钟;然后在 5 分钟内降温到室温;在室温保持 30 分钟;然后在 5 分钟之内降温到 -65°C 。这里,每个磁传感器样品经过 500 次前述的加热冷却循环试验。

之后,用发烟硝酸腐蚀,打开塑模封装,以检验在磁传感器中偏磁层和保护膜的界面处是否出现分离。对二十个磁传感器的塑模封装样品进行了相同的试验,以计算在前述的界面处出现分离的样品数目。

在上面,磁传感器的比较样品采用本实施例的制作方法制作,其中它们中不包含中间层。

对上面所述的磁传感器的比较样品进行塑模封装。

接着,按照与前面的磁传感器样品相同的方法,对密封有磁传感器的比较样品的塑模封装进行附着性试验和加热冷却循环试验。

在按照前述实施例生产的磁传感器样品中,在附着性试验中每 100 个样品中有 1 个样品发生分离,在加热冷却循环试验中没有样品发生分离。

在磁传感器的比较样品中,在附着性试验中每 100 个样品中有 32 个样品发生分离,在加热冷却循环试验中每 100 个样品中有 7 个样品发生分离。

结果表明,由于中间层的存在,按照本实施例的各磁传感器中偏磁层和保护膜之间的粘附性强,同样环境的耐久性也增强。

相反,在比较样品的磁传感器中,偏磁层和保护膜之间的粘附性不足和较小,且其环境耐久性较弱。

如上所述,按照第二、第三和第四实施例制作的各磁传感器的特征在于:提供与磁电阻元件、保护膜和偏磁层关连的一中间层,使得偏磁层的上表面被中间层完全覆盖。这里,磁传感器可以这样设计:使得没有被磁电阻元件覆盖的偏磁层的上表面部分被中间层覆盖,并且磁电阻元件的上表面和两端

侧面被中间层覆盖。

因此，有可能提高偏磁层和保护膜之间的粘附性；因而，磁传感器具有优异的环境耐久性，尤其是承受温度变化的能力；也即，有可能显著提高生产磁传感器的可靠性。

5 6、第五实施例

图 50 是一平面示意图，显示采用本发明第五实施例制作的磁传感器的总体结构。

也即，图 50 中的磁传感器 301 由以下构成：具有近似正方形形状和预定厚度的石英衬底 302；位于石英衬底 302 上的一对 X 轴 GMR 元件 331 和 332，以便形成一用于检测 X 轴方向的磁场的 X 轴磁传感器；和位于石英衬底 302 上的一对 Y 轴 GMR 元件 341 和 342，以便形成一 Y 轴磁传感器以检测与 X 轴方向垂直的 Y 轴方向的磁场。

顺便提及一下，可以用硅晶片来代替石英衬底 302。

图 51 是 X 轴 GMR 元件 331 的结构平面示意图；图 52 是沿着图 51 中 A-A 线的截面图；以及图 53 是沿着图 51 中 B-B 线的截面图。

X 轴 GMR 元件 331 和 332 分别位于石英衬底 302 上与 X 轴垂直的两侧的中点附近，其中二者相互平行设置。类似地，Y 轴 GMR 元件 341 和 342 分别位于石英衬底 302 上与 Y 轴垂直的两侧的中点附近，其中二者相互平行设置。

X 轴 GMR 元件 331 和 332 以及 Y 轴 GMR 元件 341 和 342 的每一个由多个均为带状的磁电阻膜 305 和位于磁电阻膜 305 纵向方向上的两端的多个永磁体膜（或者偏磁膜）306 组成。永磁体膜 306 由具有高矫顽力和高矩形比的硬铁磁性物质如 CoCrPt 组成的长方形薄膜构成。

彼此相邻设置的‘成对’磁电阻膜 305 的一端通过单个永磁体膜 306 连接在一起。彼此相邻设置的成对磁电阻膜 305 的另一端通过另一个永磁体膜 306 连接在一起。

永磁体膜 306 通过布线（未示出）连接，这样，通过单个永磁体膜 306 连接的成对磁电阻膜 305 的端部电连接在一起。

于是，磁电阻膜 305 和永磁体膜 306 以串联方式连接和以 Z 字形方式排列，其中磁电阻膜 305 通过永磁体膜 306 和布线进行电气串联连接以便充当电阻电路。因此，从外部引入的电流流过由磁电阻膜 305 组成的电阻电路，

从而测量电阻电路的电压以计算磁电阻膜 305 的电阻，由此可以估算外加磁场的强度。优选地是将磁电阻膜 305 的宽度设置在 6 微米到 8 微米的范围内。

接下来，详细讨论磁电阻膜 305 的结构。图 54 显示了包含在 X 轴 GMR 元件 331 中的磁电阻膜 305 的结构。也即，磁电阻膜 305 由如下按顺序叠放在石英衬底 302 上的各层构成：一自由层 F，一由铜（Cu）或者铜合金组成的导电性间隔层 S，一由 CoFe 组成的被钉扎层 PD，一由 PtMn 组成的钉扎层 PN，和一由钛（Ti）或者钽（Ta）组成的金属薄膜制成的帽层 C。

自由层 F 随外磁场的方向改变其磁化方向，其中自由层包括：一 CoZrNb 非晶磁性层 305a，一位于 CoZrNb 非晶磁性层 305a 上的 NiFe 磁性层 305b，和一位于 NiFe 磁性层 305b 上的 CoFe 层 305c。

CoZrNb 非晶磁性层 305a 和 NiFe 磁性层 305b 都由一种软铁磁性物质构成，且 CoFe 层 305c 是一防扩散层，以防止 NiFe 磁性层 305b 中 Ni 的扩散和间隔层 S 中 Cu 的扩散。

被钉扎层 PD 由 CoFe 磁性层 305d 构成，该层以翻转连接（switched connection）方式被一反铁磁薄膜 305e 支持，使得它的磁化方向被钉扎（或固定）在 X 轴的负方向。

钉扎层 PN 位于 CoFe 磁性层 305d 的上面，其由一种含有 45-55 摩尔百分比 Pt 的 PtMn 合金组成的反铁磁薄膜 305e 构成。反铁磁薄膜 305e 在归一化热处理后形成，在施加 X 轴负方向磁场的状态下实施归一化热处理。

被钉扎层 PD 和钉扎层 PN 将被统一称为钉层。

其它 X 轴 GMR 元件 332 和 Y 轴 GMR 元件 341 和 342 具有与 X 轴 GMR 元件 331 相同的结构，除了它们具有沿图 50 中箭头所示方向被钉扎（或固定）的特定磁化方向外；因此，细节描述将被省略。

被设置与磁电阻膜 305 的两端接触的永磁体膜 306 在沿着磁电阻膜 305 的纵轴方向的方向上被磁化。

如上所述，被钉扎层 PD 的磁化方向垂直于其纵轴，永磁体膜 306 的磁化方向沿着纵轴；因而，在磁电阻膜 305 的被钉扎层 PD 的磁化方向与永磁体膜 306 的磁化方向之间形成 90° 夹角。

基于前述永磁体膜 306 的磁化，有可能保持磁电阻膜 305 的自由层 F 中的单轴各向异性。

如图 50 所示，X 轴 GMR 元件 331 的被钉扎层 PD 的“被钉扎”磁化方

向位于 X 轴的负方向。X 轴 GMR 元件 332 的被钉扎层 PD 的被钉扎磁化方向位于 X 轴的正方向。此外，Y 轴 GMR 元件 341 的被钉扎层 PD 的被钉扎磁化方向位于 Y 轴的正方向。Y 轴 GMR 元件 342 的被钉扎层 PD 的被钉扎磁化方向位于 Y 轴的负方向。

- 5 在 X 轴磁传感器中，X 轴 GMR 元件 331 和 332 以串联方式连接（或半桥方式连接）。这里，对 X 轴磁传感器施加直流电压，以测量 X 轴 GMR 元件 331 和 332 之间的中点电位，其可以作为 X 轴磁传感器的输出。

基于此原因，X 轴磁传感器的输出可以随 X 轴外磁场的变化大致成比例地改变。

- 10 顺便提及一下，X 轴磁传感器可以由一对 X 轴 GMR 元件 331 和一对 X 轴 GMR 元件 332 构成，其采用全桥方式连接。

与 X 轴磁传感器类似，在 Y 轴磁传感器中，Y 轴 GMR 元件 341 和 342 以串联方式连接（或半桥方式连接）。这里，在 Y 轴磁传感器上施加一直流电压，以测量 Y 轴 GMR 元件 341 和 342 之间的中点电位，其可作为 Y 轴磁传感器的输出，其可以随 Y 轴外磁场的变化大致成比例地改变。

- 15 与上面所述的 X 轴磁传感器类似，Y 轴磁传感器可以由一对 Y 轴 GMR 元件 341 和一对 Y 轴 GMR 元件 342 构成，这时采用全桥方式连接。

如上面所述，第五实施例的磁传感器 301 基于 X 轴磁传感器的输出和 Y 轴磁传感器的输出可以检测外磁场的强度。

- 20 磁传感器 301 包括 GMR 元件 331、332、341 和 342，均具有 Z 字形图案，其中弯折部分对应于永磁体膜 306，这与通常磁电阻膜 305 被用作弯折部分不同。这样使得 GMR 元件的灵敏度方向均匀。也即，有可能精确测量外磁场的强度而不破坏磁电阻膜 305 的电阻和外磁场强度之间的线性关系（或线性度）。

- 25 此外，本实施例的特征在于：永磁体膜 306 被设置成与磁电阻膜 305 的两端连接，每个磁电阻膜 305 呈现带状。也即，由于永磁体膜 306 的磁化，有可能保持磁电阻膜 305 的自由层 F 中的单轴各向异性；因此，有可能以好的可重复性测量外磁场的强度。

- 30 与传统知晓的磁传感器不同，本实施例不使用无磁性膜，其中每个具有 Z 字形图案的 GMR 元件 331、332、341 和 342 由磁电阻膜 305（均呈现带状）和永磁体膜 306 组成，其中永磁体膜 306 被设置成与磁电阻膜 305 的两

端接触。也即，本实施例的磁传感器 301 具有相对简单的结构，易于制作。

磁电阻膜 305 的自由层 F 中的单轴各向异性方向被迫与磁电阻膜 305 的纵向方向和永磁体膜 306 的磁化方向一致。因此，自由层 F 的单轴各向异性方向可以通过磁电阻元件 305 的形状磁各向异性和永磁体膜 306 的磁化来保持；因而，有可能以优异的重复性来测量外磁场的强度。

优选地是，以下列方式设置磁电阻膜 305 和永磁体膜 306：永磁体膜 306 的矩形比，即永磁体膜 306 的长度（位于图 51 的水平方向）和宽度（位于图 51 的垂直方向）之间的长宽比设定为 1 以上，并且永磁体膜 306 的纵向方向大致与磁电阻膜 305 的纵向方向一致。

于是，有可能增加永磁体膜 306 的透过系数，由此其磁化程度不易减小。由于永磁体膜 306 的磁化，有可能以一种稳定状态保持磁电阻膜 305 的自由层 F 中的单轴各向异性方向；因此，有可能以优异的重复性测量外磁场强度。

当然，本发明并非仅限于本实施例，在不偏离本发明范围的情况下可以用各种方式进行改变。

例如，永磁体膜 306 由一种导电材料组成，使得它可以起到布线的作用。

图 55 是一个平面示意图，显示了由多个磁电阻膜 305 和参与布线功能的多个永磁体膜 306X 组成的 X 轴 GMR 元件 331X。

磁电阻膜 305 通过永磁体膜 306X 进行电气串联连接，使得可以通过永磁体膜 306X 对具有 Z 字形图案的磁电阻膜 305 进行充电。

通孔（即，电镀通孔）361 在永磁体膜 306X 的指定位置形成，使得通过通孔 361，永磁体膜 306X 与自设置于石英衬底 302 上的衬垫和其他元件（未显示）延伸的布线部分 307 电气连接。

由于永磁体膜 306A 起到布线的作用，因此没有必要额外提供布线部分；因此，有可能简化磁传感器的制作工艺，使其因此易于生产。

接着，详细描述按照第五实施例制作的磁传感器的各种样品。

（1）样品 1

磁传感器的样品 1 具有与图 50 所示的磁传感器 301 相同的结构。

图 56 显示按照样品 1 的 X 轴 GMR 元件 331 的磁电阻特性，其中有可能获得磁电阻随外磁场强度大致成比例变化的磁电阻特性，外磁场沿 X 轴方向施加且在 -30 奥斯特到 30 奥斯的范围内。

图 57 显示关于按照样品 1 和样品 3 的两种磁传感器在 X 轴 GMR 元件

331 和 X 轴 GMR 元件 332 之间建立的散射磁场的稳定性。

通过评估磁电阻元件的磁化性能来定义散射磁场的稳定性，方法是当曾加在各 X 轴 GMR 元件 331 和 332 上的外磁场消失后，自由层的磁化方向符合（或恢复）初始磁化方向的程度。也即，它可以表示为初始状态下产生的
5 初始传感器输出与外磁场消失后产生的传感器输出之间的差异（或变化）。当初始传感器输出与外磁场消失后产生的传感器输出之间的变化变小时，当曾施加到传感器的外磁场消失后，自由层的磁化方向趋于符合（或恢复）初始磁化方向。因而，有可能以好的重复性测量外磁场的强度。

用于评估磁传感器 301 的散射磁场稳定性是通过以下方法测试的。

10 其磁化方向与磁传感器 301 的 X 轴成 45° 角倾斜的外磁场以交替的方式施加到包括 X 轴 GMR 元件 331 和 332 的 X 轴磁传感器上；接着，撤消磁场，并测量 X 轴传感器的输出。

接着，用一个初始化线圈对 X 轴 GMR 元件 331 和 332 进行初始化处理，线圈放在 X 轴 GMR 元件 331 和 332 的紧下方以恢复各 GMR 元件的自由层
15 中的初始磁化状态。这里，通过用指定的电流进行通电，初始化线圈可以在与各 GMR 元件的纵向和自由层的方向一致的指定方向产生一磁场。

在曾施加到 X 轴 GMR 元件 331 和 332 的外磁场撤消后，进行十次初始化操作，其中，每次初始化操作后测量 X 轴传感器的输出。

20 重复进行上述的一系列操作，直至外磁场的强度增加 20 奥斯特，从而有可能检测到 X 轴传感器在初始状态产生的初始输出与进行初始化操作后各初始化后的状态下产生的输出之间的差值、在连续初始化状态下产生的 X 轴传感器输出之间的差值以及 X 轴传感器的输出变化。

25 在对应于样品 1 的磁传感器 301 中，外磁场撤消和每次初始化操作后，从初始传感器输出算起，传感器的输出变化几乎为零，除非外磁场的强度超过 140 奥斯特。这证明磁电阻膜 305 的自由层 F 中的磁化方向几乎与其初始磁化方向一致。也即，可以说对应于样品 1 的磁传感器 301 可以以好的重复性测量外磁场的强度。

30 结果是，对应于样品 1 的磁传感器 301 能够精确测量外磁场的强度，而不会破坏其磁电阻和外磁场强度之间的线性关系（或线性度），其中，当施加到磁传感器的外磁场撤消后，自由层 F 的磁化方向几乎与其初始磁化方向一致；因此，有可能以好的重复性测量外磁场的强度。

(2) 样品 2

图 58 是显示对应于样品 2 的 X 轴 GMR 元件 431 的结构平面示意图。样品 2 与样品 1 的不同之处在于：各 X 轴 GMR 元件 431 和它的相应 Y 轴 GMR 元件仅由磁电阻膜 405 组成。对应于样品 2 的 X 轴 GMR 元件 431 的其他部分的结构与对应于样品 1 的 X 轴 GMR 元件 331 的结构类似；因此，这里详细的描述将被省略。

图 59 显示对应于样品 2 的 X 轴 GMR 元件 431 的磁电阻特性。也即，在外磁场的作用下出现了磁电阻特性的相当大的磁滞回线；因此，很难在磁电阻和磁场强度之间建立一种单一线性关系。基于此原因，对于相同强度的外磁场，磁电阻可能会随着磁化方向发生巨大的变化。也即，不可能观察到磁电阻和外磁场强度之间的线性度；因而很难精确测量外磁场的强度。

这是因为在对应于样品 2 的各 X 轴 GMR 元件 431 和它的相应 Y 轴 GMR 元件中，其 Z 字形图案的弯折部分由磁电阻膜构成；因此，磁电阻膜 405 的各向异性在弯折部分无法保持，并且灵敏度方向变得不均匀。

(3) 样品 3

图 60 是显示对应于样品 3 的 X 轴 GMR 元件 531 的结构平面图。样品 3 与样品 1 的不同之处在于：在 X 轴 GMR 元件 531 和它的相应 Y 轴 GMR 元件中，磁电阻膜 505 的 Z 字形图案的弯折部分由非磁性膜 500 构成。对应于样品 3 的 X 轴 GMR 元件 531 的其他部分的结构与对应于样品 1 的 X 轴 GMR 元件 331 的结构类似；因此，这里详细的描述将被省略。

如图 57 所示，当外磁场强度等于或超过 40 奥斯特时，在撤消施加到磁传感器的外磁场后，测量到的对应于样品 3 的磁传感器的输出变化不为零；于是，磁电阻膜 505 的自由层 F 的磁化方向没有恢复其初始磁化方向。甚至对 X 轴 GMR 元件 531 进行十次初始化操作后，传感器的输出变化仍不为零，自由层 F 的磁化方向仍没有恢复其初始磁化方向。随着外磁场强度的增加，传感器的输出变化增加。因而，结果显示对应于样品 3 的磁传感器无法以好的重复性测量外磁场的强度。

这是因为在对应于样品 3 的 X 轴 GMR 元件 531 和其相应的 Y 轴 GMR 元件中，磁电阻膜 505 的 Z 字形图案的弯折部分由非磁性膜构成；因此，难于保持磁电阻膜 505 的自由层 F 中的单轴各向异性。

总之，第五实施例的磁传感器可以以优异的重复性精确测量外磁场的强

度；因而，第五实施例可应用于利用磁传感器的磁分析和磁医用设置。

7、第六实施例

按照本发明的第六实施例的磁传感器被设计利用 GMR 元件来测量关于地磁学（或陆地磁学）的绝对方向（或绝对方位），其中各 GMR 元件具有图 5 61 所示的结构，其中在由石英玻璃组成的衬底 601 上依次叠放包括 CoZrNb 层、NiFe 层和 CoFe 层的具有三层结构的自由层 602；一由 Cu 组成的间隔层 603；一由 CoFe 组成的被钉扎层 604；一由 PtMn 组成的钉扎层 605；和一由 Ti 组成的帽层 606。这里，自由层 602 随外磁场改变其磁化方向，被钉扎层 604 的磁化方向被固定（或钉扎）。假设外磁场施加到图 61 中的 GMR 元件，其中当自由层 602 的磁化方向变成与被钉扎层 604 的磁化方向相同时，流过间隔层 603 的传导电子难于被散射，使得电阻降低；然而当自由层 602 的磁化方向与被钉扎层 604 的磁化方向相反时，流过间隔层 603 的传导电子易于被散射，使得电阻增加。也即，GMR 元件呈现与自由层 602 的磁化方向和被钉扎层 604 的磁化方向之间的相对关系相对应的电阻；因此，有可能通过测量电阻来检测外磁场的强度。

为了精确地测量一个非常小的磁场，当施加的外磁场撤消和没有对磁传感器施加外磁场时，必须保持自由层沿预定方向的磁化方向（即，初始磁化方向）处于稳定的状态。基于此原因，必须形成平面视图上为长方形形状的“薄”自由层，其中自由层的长边（或纵轴）被设计成与其初始磁化方向一致，从而，利用使磁化方向沿纵向排列的形状各向异性，迫使自由层的各磁化部分的磁化方向与初始磁化方向一致。为了使自由层在外磁场撤消后重建和以稳定的方式长时间维持初始磁化方向，在自由层沿纵向的两端设置对应于永磁体膜的偏磁膜，使得所述偏磁膜通常施加一实现初始磁化方向的特定磁场到该自由层。

顺便提及一下，GMR 元件的灵敏度依赖于 GMR 元件的 MR 比、无磁场时自由层的钉扎和磁化之间形成的角度以及自由层的易磁化能力。GMR 元件感应小磁场的灵敏度方向垂直于无磁场时自由层的磁化方向。

日本专利申请出版物第 2002-299728 号中公开的磁传感器有如下缺点：当出现磁滞现象时，方向测量的范围椭圆形地变形，或者在测量中可能明显出现预定偏移，从而产生不希望的方向偏差，这使得在方向测量上引起不希望的灵敏度变化。

有可能制作一个 9 微米至 10 微米宽的 GMR 元件样品,其中自由层厚度为 125 埃,间隔层厚度为 24 埃,被钉扎层厚度为 22 埃。使用这种 GMR 元件的磁传感器有磁滞现象,因而无法满足方位地磁传感器的要求。

因此,第六实施例提供一种没有磁滞、高灵敏度、且可以减小其灵敏度
5 方向偏差的磁传感器。

在图 61 所示的前述 GMR 元件中,在由边长为 2 毫米的方形石英玻璃组成的衬底 602 (见图 62) 上,依次叠放包括 CoZrNb 层、NiFe 层和 CoFe 层的具有三层结构的自由层 602; 由 Cu 或 Cu 合金组成的间隔层 603; 由 CuFe 组成的被钉扎层 604; 由 PtMn 组成的钉扎层 605; 以及由 Ti 组成的帽层 606。

10 具体地,自由层 602 是其磁化方向随外磁场改变的磁性层。间隔层 603 是一由 Cu 或 Cu 合金组成的金属薄膜。被钉扎层 604 由 CoFe 磁性层组成的铁磁性物质构成,其中其磁化方向被固定。钉扎层 605 位于被钉扎层 604 上面,由含有 45-55mol%Pt 的 PtMn 合金组成的反铁磁性物质构成。自由层 602、间隔层 603、被钉扎层 604、钉扎层 605 和帽层 606 的全部被统一称为自旋
15 阀膜 607。

图 62 是显示一种磁传感器结构的平面图,其中 GMR 元件沿着两个轴即 X 轴和 Y 轴放置。在图 62 所示的磁传感器中,在边长为 2 毫米的方形石英玻璃衬底 601 上,设置了用于检测沿 X 轴方向的磁场的 X 轴磁传感器 609 和用于检测沿 Y 轴方向的磁场的 Y 轴磁传感器 610。X 轴磁传感器 609 和 Y
20 轴磁传感器 610 均具有包括图 61 所示的自旋阀膜 607 的多层结构。

图 63 显示了磁传感器 609 和 610 的每一个的平面形状,其中均呈带状的多个自旋阀膜 607 相互平行设置,并且多个偏磁膜 611 设置在自旋阀膜 607 的两端以建立自旋阀膜 607 之间的串联连接。偏磁膜 611 由具有高矫顽力和高矩形比的 CoCrPt 组成的硬铁磁物质的薄膜构成。

25 图 64 是显示在图 62 所示的 X 轴磁传感器 609 和 Y 轴磁传感器 610 之间建立的桥式连接的连线图。在这种桥式连接中,利用一个电流源和其他类似仪器将 V_i+ 施加到 “I+” 端 (612), 将 V_i- 施加到 “I-” 端 (613)。此外, V_{out+} 从 “O+” 端 (614) 读出, V_{out-} 从 “O-” 端 (615) 读出。因此,基于 V_{out+} 和 V_{out-} 之间的电位差产生传感器输出 V_{out} 。

30 假定图 71 所示影响自由层 602 的磁场施加到 GMR 元件,其中随着 GMR 元件宽度增加,各向异性磁场 (H_k) 616 变小,然而,当与外磁场相比 H_k

变得太小时，可能出现磁滞现象。

在 GMR 元件的层状结构中，磁场可能以三种磁路（magnetic field connection）影响自由层 602，即，一种由被钉扎层 604 产生的静态磁路（ H_s ）619，一种依赖于被钉扎层 604 和间隔距离的翻转磁路（ H_{in} ）618，和由偏磁膜 611 产生的静态磁路（ H_m ）。当被钉扎层 604 的厚度增加时，静态磁路（ H_s ）619 变强。当间隔层 603 厚度减小时，翻转磁路（ H_{in} ）618 变强。GME 元件有如下性质：当其宽度增加时，来源于被钉扎层 604 的静态磁路 619 变弱。当自由层 602 厚度增加时，所有前述的磁路变小。

关于影响自由层 602 和 GMR 元件灵敏度方向的磁场，如图 73 所示，自由层的磁化方向 D 与磁化历史和影响自由层 602 的磁场有关。当产生非常小磁场的地磁作用到自由层 602 时，无论钉扎与否，GMR 元件的灵敏度方向变得与没有磁场时的磁化方向垂直。随着影响自由层 602 的磁场变小，GMR 元件的灵敏度增加，然而可能容易出现磁滞现象。

第六实施例考虑到前述背景而设计，其特征在于：GMR 元件的宽度在 6 到 8 微米之间，间隔层的厚度在 28 到 34 埃之间，自由层的厚度设定为 125 埃，且被钉扎层的厚度设定为 30 埃。

图 65 画出了关于按照第六实施例的磁传感器测量的有关灵敏度和灵敏度方向偏差的值，其中 GMR 元件的宽度在 6 微米到 10 微米之间变化，其中钉层的磁化方向相对于磁电阻元件的纵向方向倾斜 90° 。图 65 显示可以通过增加 GMR 元件的宽度提高磁传感器的灵敏度，然而产生灵敏度方向的偏差，使得在 GMR 元件的宽度为 9 微米以上的磁传感器中，GMR 元件的电阻比下降，并且灵敏度应该达到峰值。图 65 显示在 GMR 元件的宽度在 6 微米到 8 微米之间的磁传感器中，有可能保持相对高的灵敏度，且灵敏度方向偏差可以减小。因此，本实施例中设置 GMR 元件的宽度在 6 微米到 8 微米之间。

图 65 显示灵敏度受到 GMR 元件宽度的显著影响，其中可以估算来自于被钉扎层的静态磁场连接 H_s 随着 GMR 元件形状（或宽度）的变化而改变。因此，在 GMR 元件的偏置调节方面，GMR 元件的宽度和间隔层的厚度是非常重要的因素。

自由层的厚度和被钉扎层的厚度都对灵敏度影响不大，然而由 Cu 组成的间隔层的厚度是影响灵敏度的重要因素。

图 68 显示组成 GMR 元件的各层的厚度对于磁传感器的灵敏度产生的影

响，其中垂直轴代表灵敏度对于组成 GMR 元件的各层的厚度的依赖关系。图 68 清楚地表明由 Cu 组成的间隔层的厚度对于灵敏度有最大的影响；因此，适当设定间隔层的厚度非常重要。

5 图 69 显示组成 GMR 元件的各层的厚度对于磁传感器的灵敏轴(或灵敏度方向)产生的影响，其中垂直轴代表灵敏轴对于组成 GMR 元件的各层的厚度的依赖关系。图 69 清楚地表明由 Cu 组成的间隔层的厚度对于灵敏轴有最大的影响；因此，适当设定间隔层的厚度非常重要。

换句话说，与间隔层的厚度相比，自由层厚度和被钉扎层厚度均对灵敏度和灵敏轴产生较小的影响。

10 顺便提及一下，施加到自由层的偏磁场包括：来自于被钉扎层的静态磁场连接（static magnetic field connection）(H_s)和翻转连接磁场（switched-connection magnetic field）(H_{in})。这里，来自被钉扎层的静态磁场连接（ H_s ）与 GMR 元件的形状有关；因此难以独立测量。反过来，翻转连接磁场（ H_{in} ）可以采用任意图形容容易地测量，与形状无关。图 70 表明翻

15 转连接磁场（ H_{in} ）对于组成 GMR 元件的各不同层厚度的依赖关系。图 70 清楚地表明翻转连接磁场（ H_{in} ）与由 Cu 组成的间隔层的厚度有非常密切的联系。

图 66 和图 67 中画出了当 GMR 中自由层的厚度变化时，关于灵敏度方向偏差和灵敏度的值，其中黑方块标记代表关于 GMR 元件的宽度为 7.5 微米的磁场传感器所测量到的数值。数值的测量与下述的磁传感器有关，其中

20 钉层的磁化方向相对于磁电阻元件的纵向方向倾斜 45° 。图 66 和图 67 显示当 GMR 元件的间隔层厚度设定为 28 埃时可以实现最高的灵敏度和最小的灵敏度方向偏差。可以保持相当高的灵敏度，直到 GMR 元件的间隔层厚度达到 34 埃；然而，当间隔层的厚度超过 34 埃时，灵敏度有所减小。另一方面，

25 只要 GMR 元件的间隔层厚度在 28 埃到 34 埃之间变化，灵敏度方向的偏差大致保持接近 0° ；然而，当 GMR 元件的间隔层厚度超过 34 埃时，该数值变大。因此，本实施例设定间隔层的厚度在 28 埃到 34 埃之间。

图 74 显示磁性薄膜和磁电阻（MR）元件之间的尺寸关系，其中“X”代表磁性薄膜的宽度，“Y”代表磁性薄膜的长度，这里 $X < Y$ 。关于其宽度

30 分别设定为 7.5 微米和 5 微米的 MR 元件的两个样品来说，优选地按照如下尺寸设计磁性薄膜。

表 2

MR 元件宽度	7.5 微米	5 微米
X	20 微米	15 微米
Y	60 微米	60 微米

在图 61 到 64 所显示的本发明的 GMR 元件中，其中宽度设定为 7.5 微米，间隔层的厚度设定为 28 埃，以及被钉扎层的厚度设定为 30 埃，其在灵敏度和灵敏度方向上表现出优异的性能，其中钉层的磁化方向相对于 GMR 元件的纵向方向倾斜 45° ，并且磁性薄膜的宽度为 20 微米，长度为 60 微米。这里，它证明灵敏度为 1.94 毫伏/奥斯特，且灵敏度方向偏差为 0-3 度。

8. 第七实施例

GMR 元件的被钉扎层的磁化方向被钉扎以与带状 GMR 元件的短边方向一致，从而自由层的磁化方向必定沿带状 GMR 元件的纵向方向排列使其与没有外磁场施加到 GMR 元件时的初始状态下被钉扎层的磁化方向成 90 度。在初始状态下自由层的磁化方向将被当作自由层的易（磁化）轴方向。

采用预定的方法使得自由层的易磁化轴方向与带状 GMR 元件的纵向方向一致，以此通过控制 GMR 元件的磁各向异性来确保磁传感器响应外磁场的稳定性，GMR 元件形成为预定图案以获得实现带状形状的形状比。

然而，该方法的缺点在于缺乏自由层磁化的稳定性，自由层应该在与外磁场无关的情况下被磁化；由此当磁传感器暴露在相对弱的磁场中时，磁传感器的输出将会改变。

或者，采用另一种方法，通过在 GMR 元件的两端设置偏磁层来施加偏磁场，强制性地控制自由层易轴方向与带状 GMR 元件的纵向方向一致。按照此方法，偏磁层沿自由层易轴方向磁化以便控制自由层的磁化，从而有可能提高磁传感器响应外磁场的稳定性。

然而，本方法的缺点在于：随着外磁场的强度增加，难以恢复被磁化的自由层的初始状态。图 92 是显示上述的 GMR 元件的自由层的磁化方向的平面示意图，其中被外磁场磁化的磁壁（或者边缘弯曲壁）形成于沿着带状 GMR 元件的纵向方向的自由层的两端。这里，当外磁场改变时，自由层的磁化过程变得不均匀，所以磁传感器输出的线性度降低；初始状态下自由层的磁化方向沿略微偏离带状 GMR 元件的纵向方向的方向上排列，由于在外

磁场撤消后边缘弯曲壁仍然保留，导致磁传感器的输出变得不稳定；因此，难以恢复自由层初始状态下建立的原始磁化方向。

- 考虑前述的缺点，第七实施例设计提供一种磁传感器，其可以充分证明 GMR 元件响应外磁场的磁各向异性，可确保输出相对于外磁场的稳定性，
- 5 并甚至在施加强磁场后仍可精确恢复自由层初始状态建立的原始磁化方向。

图 75 是显示对应于本发明第七实施例的磁传感器的平面示意图。也即，图 75 所示的一种磁传感器 701 包括：由石英或硅晶片组成的、具有指定厚度的衬底 702，用于检测 X 轴方向的磁场的 X 轴磁传感器 731 和 732，以及用于检测 Y 轴方向的磁场的 Y 轴磁传感器 741 和 742。

- 10 在磁传感器 701 中，衬底 702 由方形的石英或者硅晶片组成。前述的四个磁传感器 731、732、741 和 742 分别沿着方形衬底 702 的四边设置，使得每个磁传感器都大致位于方形衬底 702 的各边的中心附近。每个磁传感器 731、732、741 和 742 都呈带状，它们的纵向方向与方形衬底 702 的各边平行。顺便提及一下，在图 75 中，定义水平方向为 X 轴方向，定义垂直方向
- 15 为 Y 轴方向，从而 X 轴磁传感器 731 和 732 被设置为平行于方形衬底 702 沿着 Y 轴方向的边；同时 Y 轴磁传感器 741 和 742 被设置为平行于方形衬底 702 沿着 X 轴方向的另外两边。

- 图 76 是显示 X 轴磁传感器 731 的结构平面示意图。由于其它磁传感器在结构上与 X 轴磁传感器 731 基本相同，与 X 轴磁传感器 731 的不同之处在于关于其被钉扎层的磁化方向的钉扎方向，因此，细节描述将被省略。
- 20 在图 76 中，X 轴磁传感器 731 包括：带状 GMR 元件 705，分别连接 GMR 元件 705 两端的偏磁层 706，和连接偏磁层 706 的线引出部分 707，其中箭头方向指示自由层的磁化方向。

- 按照本实施例的 X 轴磁传感器 731 如下设计，使得均呈带状的四个 GMR
- 25 元件 705 沿其纵向方向平行设置在衬底 702 上，其间具有指定的距离。这里，在图 76 的上部毗连在一起的第一和第二 GMR 元件的左端被形成在第一偏磁层 706 的右端，使得第一和第二 GMR 元件 705 通过第一偏磁层 706 电连接在一起。此外，第二和第三 GMR 元件 705 的右端形成于第二偏磁层 706 的左端，使得第二和第三 GMR 元件 705 通过第二偏磁层 706 电连接在一起。
- 30 而且，第三和第四 GMR 元件 705 的左端形成于第三偏磁层 706 的右端，使得第三和第四 GMR 元件 705 通过第三偏磁层 706 电连接在一起。第一和第

四 GMR 元件 705 的右端均形成于单个偏磁层 706 的左端, 所述单个偏磁层 706 形成于带状的线引出部分 707 的左端。也即, 四个 GMR 元件 705 通过偏磁层 706 设置成 Z 字形图案, 从而它们每一个都与线引出部分 707 电连接。

5 GMR 元件 705、偏磁层 706 和线引出部分 707 按照指定的次序顺序叠在一起, 从而它们在指定的端部连接在一起使得它们以 Z 字形方式设置, 于是形成整体上作为一个电阻的串联电路。电流从外部施加到电路上; 接着测量电压以估算 GMR 元件 705 的总电阻, 基于此可以计算出外磁场的强度。

10 接着, 将参考图 77 描述 GMR 元件 705, 其是一个显示 GMR 元件 705 的结构的面视图。也即, GMR 元件 705 包括: 一自由层 F, 一由 Cu 组成的导电间隔层 S, 一由钴铁(CoFe)合金组成的被钉扎层 PD, 一由铂锰 (PtMn) 合金组成的钉扎层 PN, 和一由 Ti 或 Ta 组成的金属薄膜制成的帽层 C, 这些层在衬底 702 上按顺序叠起来。

15 自由层 F 随外磁场的方向改变其磁化方向, 其中自由层包括: 一钴锆铌 (CoZrNb) 非晶磁性层, 一形成于 CoZrNb 非晶磁性层上的镍铁 (NiFe) 磁性层, 和一形成于 NiFe 磁性层上的钴铁 (CoFe) 层。

为了保持磁化的单轴各向异性 (如, 自由层的易轴方向), 偏磁层 706 沿带状 GMR 元件 705 的纵向方向对自由层 F 施加磁场。

20 在自由层 F 中, CoZrNb 非晶磁性层和 NiFe 磁性层均由一种软铁磁性材料组成, 并且提供 CoFe 层是为了防止 NiFe 磁性层中出现镍的扩散和间隔层 S 中出现铜的扩散。

间隔层 S 由铜或者铜合金组成的导电金属薄膜制成。

被钉扎层 PD 由一钴铁 (CoFe) 磁性层构成, 其中 CoFe 磁性层以翻转连接方式被形成钉扎层 PN 的反铁磁薄膜支撑, 使其磁化方向被钉扎 (或者固定) 在带状 GMR 元件 705 的短边方向上, 该磁化方向如图 75 的箭头所示。

25 钉扎层 PN 形成于 CoFe 磁性层上, 由含有 45 - 55 摩尔百分比铂的 PtMn 合金构成的反铁磁薄膜制成。在指定方向施加磁场的条件之下的标准热处理中, 形成反铁磁薄膜。

顺便提及一下, 被钉扎层 PD 和钉扎层 PN 统称为一钉层。

30 帽层 C 由钛 (Ti) 或者钽 (Ta) 组成的一金属薄膜制成, 其中采用该帽层以防止钉扎层 PN 的氧化从而保护钉扎层。

按照本实施例的 GMR 元件 705 的特征在于: 位于纵向方向的侧面 708

形成锥形面。

图 78 是显示 GMR 元件 705 的外观的透视图,其中向右方向称为短边方向,向后方向称为纵向方向。这里,侧面 709 位于短边方向,侧面 708 位于纵向方向。每个位于 GMR 元件 705 的纵向方向的侧面 708 形成锥形,并以 θ 角度倾斜以得到宽底形状。由于 GMR 元件 705 的纵向方向的侧面 708 形成锥形面,从而有可能以指定的方向排列自由层 F 的磁化方向使其在无外磁场施加到 GMR 元件 705 上的初始条件下与 GMR 元件 705 的纵向方向一致。

优选地是,角 θ 在 50 度到 85 度之间变化。与其侧面 708 呈现锥形且倾斜 90 度的 GMR 元件 705 相比,其侧面 708 呈现锥形且倾斜处于上述范围内的角度 θ 的 GMR 元件 705 改变了磁分区(或者磁畴)的形成;于是,有可能避免形成如图 92 所示的磁壁(或者边缘弯曲壁);并有可能提高自由层 F 磁化的均匀性,从而有可能稳定磁传感器响应外磁场时的输出。此外,甚至当一个强磁场施加到磁传感器上,仍有可能精确恢复与 GMR 元件的纵向方向一致的自由层的原始磁化方向。

与 GMR 元件 705 相连的偏磁层 706 由一厚度为 90 纳米左右的金属薄膜制成,其由具有高矫顽力和高形状比的钴铬铂 (CoCrPt) 合金组成的磁性膜构成。偏磁层 706 被磁化,使得其磁化方向位于 GMR 元件 705 的纵向方向。

如图 75 中箭头所示,被钉扎层 PD 的磁化方向位于 GMR 元件 705 的短边方向,而偏磁层 706 的磁化方向位于 GMR 元件 705 的纵向方向。也即,在被钉扎层 PD 的磁化方向和偏磁层 706 的磁化方向之间形成 90 度的角。

由于偏磁层 706 的磁化, GMR 元件 705 的自由层沿着纵向方向被磁化,如图 76 所示。即,可以保持自由层的单轴各向异性(即自由层易轴方向)。

如上所述,本发明的特征在于:偏磁层 706 与带状 GMR 元件 705 的两端相连,其中 GMR 元件 705 的侧面 708 形成锥形面。于是,有可能充分控制 GMR 元件 705 响应外磁场的磁各向异性;有可能提高自由层磁化的均匀性,于是确保磁传感器响应外磁场的输出稳定性;并且甚至在对磁传感器加强磁场后,仍有可能精确恢复自由层中的原始磁化方向。

顺便提及一下,与前述的磁传感器相比,本实施例的磁传感器提高了在外磁场作用下的输出稳定性,而不会实质改变 GMR 元件的膜结构和其形成图形。

接着,介绍按照本实施例的磁传感器的制作方法。

图 79 是一个流程图，显示按照本实施例磁传感器的制造方法的各步骤；图 80 到图 85 以及图 87A 和 87B、图 88A 和 88B、图 89A 和 89B 及图 90 是显示被制作的磁传感器的结构的截面图。

5 在本实施例的磁传感器的制作方法中，首先准备一种由石英或者硅晶片组成的衬底 702。有可能事先制作大规模集成电路部分以控制磁传感器，其中在预处理工艺中（见步骤 J1），电路元件如晶体管、布线、绝缘膜、接触和保护膜采用公知的方法制作；接着形成穿过保护层的开口以确保连接。

接着，进行磁体膜成膜（见步骤 J2），其中如图 80 所示，采用溅射的方法在衬底 702 的上表面形成一由铬组成的、厚度约为 40 纳米的掩埋膜 710。
10 接着，采用溅射方法在掩埋膜 710 的上表面形成一由钴铂铬（CoCrPt）合金组成的、厚度约为 90 纳米的偏磁膜 706。

接着，进行磁体切割（见步骤 J3），其中如图 81 所示，以旋涂或者浸涂的方法在偏磁层 706 的上表面形成一随机厚度的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面放置一块具有一定图形的掩模，随后进行曝光；之后进行显影工艺，
15 使得光致抗蚀剂中不需要的部分被去除，于是形成一抗蚀剂膜 711。接着，加热光致抗蚀剂并产生回流，如此产生两端发生弯曲的抗蚀剂膜 711X。

接着，进行磁体研磨（见步骤 J4），其中如图 82 所示，在指定的方向采用离子研磨以去除掩埋膜 710 和偏磁层 706 中没有被回流后的抗蚀剂膜 711X 覆盖的指定部分，使得掩埋膜 710 和偏磁层 706 分别形成指定的形状。
20 在步骤 J4 中，相应于回流后抗蚀剂膜 711X 两端的弯曲形状执行离子研磨，使得掩埋膜 710 和偏磁层 706 的侧面倾斜于衬底 702。

接着，进行抗蚀剂去除（见步骤 J5），其中如图 83 所示，采用清洗液如丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 等去除抗蚀剂膜 711X，使得去除抗蚀剂膜 711X 时偏磁层 706 的表面可以清洗。

25 接着，进行 GMR 成膜（见步骤 J6），其中如图 84 所示，采用离子束溅射或者磁控溅射的方法在衬底 702 的上表面、掩埋膜 710 的侧面和偏磁层 706 的上表面和侧面形成 GMR 元件 705。

接着，进行磁阵列设置（见步骤 J7），其中外空间提供的一磁阵列被放置在相对于偏磁层 706 的指定位置，从而对 GMR 元件 705 的钉层按指定的
30 方向施加磁场。

接着，进行到标准化热处理（见步骤 J8），其中，磁阵列和偏磁层 706

的布置被固定并在真空下、280 摄氏度加热四小时。由此实施对 GMR 元件 705 的钉层内钉扎层的标准化热处理，从而被钉扎层的磁化方向被钉扎（或固定）在 GMR 元件 705 的短边方向。

接着，从指定的位置移去磁阵列（见步骤 J9）。

- 5 接着，进行到 GMR 图形形成（见步骤 J10），其中如图 85 所示，采用旋涂或者浸涂的方法在 GMR 元件 705 的上表面形成一厚度在 0.3 微米到 5 微米之间的光致抗蚀剂。在光致抗蚀剂的表面放置一块具有假定图形的掩模，接着曝光；然后进行显影工艺以去除光致抗蚀剂中不需要的部分，于是形成一抗蚀剂膜 720。图 85 中的 C-C 线与图 86A 中的 C-C 线相对应。通过
- 10 限定在 GMR 元件 705 上形成的光致抗蚀剂的厚度在上述的范围之内，有可能减少抗蚀剂回流后抗蚀剂膜 720X 的倾斜角 β 。顺便提及一下，图 86A 中沿 D-D 线的抗蚀剂宽度例如在 6 微米到 8 微米之间。

- 接着，进行到抗蚀剂回流（见步骤 J11），其中在一定的温度内（120 摄氏度到 180 摄氏度之间）、一定的时间内（在 1 分钟到 30 分钟之间）加热抗蚀剂膜 720，使得抗蚀剂回流，由此位于纵向和短边方向的抗蚀剂膜 720 的所有端部都适当地弯曲，于是形成具有斜坡的抗蚀剂膜 720X。这里，与前面的加热温度 100 摄氏度相比，抗蚀剂膜 720 在更高的温度下加热，并且加热时间设定在前述范围之内，由此有可能减少位于纵向方向的抗蚀剂膜 720X 的侧面的倾斜角度 β 。
- 15

- 20 图 86A 到图 86C 显示了执行 GMR 图形形成（见步骤 J10）和抗蚀剂回流（见步骤 J11）后，GMR 元件 705、抗蚀剂膜 720 和回流后的抗蚀剂膜 720X 之间的关系，其中图 86A 是一个平面示意图，显示 X 轴磁传感器 731 的结构，图 86B 是沿着图 86A 中 C-C 线的截面图，以及图 86C 是沿着图 86A 中 D-D 线的截面图。

- 25 经过步骤 J10 后，抗蚀剂膜 720 具有矩形的平行管形状（由图 86B 和 86C 中的点划线表示），其中分别位于短边方向和纵向方向的抗蚀剂膜 720X 侧面倾斜于衬底 702 的倾斜角 α 和 β 均被设定为 90 度。

- 30 前述的抗蚀剂膜 720 被加热以造成抗蚀剂回流，这在衬底 702 的整个表面上进行；于是，对于短边方向和纵向方向在相同的条件下加热，其中抗蚀剂膜 720X 侧面的形状与光致抗蚀剂的图形有关。在图 86A 和图 86B 的截面图中，用实线画出了回流后抗蚀剂膜 720X 的形状。如图 86B 所示，其是沿

着图 86A 中的 C-C 线的截面图, 衬底 702 和位于短边方向的抗蚀剂膜 720X 的侧面之间形成的倾斜角度 α 在 30 度到 80 度之间。如图 86C 所示, 其是沿着图 86A 中的 D-D 线的截面图, 衬底 702 和位于纵向方向的抗蚀剂膜 720X 的侧面之间形成的倾斜角度 β 在 50 度到 85 度之间。

- 5 接着, 进行到 GMR 研磨 (见步骤 J12), 其中离子束沿倾斜方向入射到衬底 702 以便在 GMR 元件 705 上进行研磨, 由此 GMR 元件 705 中没有被回流后抗蚀剂膜 720X 覆盖的指定部分被去除, 并且位于纵向方向的 GMR 元件 702 的侧面 708 形成锥形面。

- 10 在步骤 J12, 相应于分别位于短边方向和纵向方向的抗蚀剂膜 720X 端部的弯曲形状执行离子研磨, 使得位于纵向方向的 GMR 元件 705 的侧面 708 和位于短边方向的 GMR 元件 705 的侧面 709 分别以不同的锥形角度倾斜于衬底 702。

- 15 在离子研磨中, 可以采用使用氩气、氧、 CF_4 等的指定离子束, 其中最优选的是氩气。离子束的入射角倾斜于衬底 702, 其中优选地是相对于晶片表面的法线倾斜 5 度到 30 度。此外, 在指定的条件下进行离子研磨, 其中压力在 0.01 帕到 0.1 帕之间, 加速电压在 0.3 千伏到 0.8 千伏之间, 并且研磨时间在 1 分钟到 3 分钟之间。

- 20 当采用沿垂直方向加在衬底 702 上 (与衬底 702 的表面成 90 度) 的离子束进行离子研磨时, 换句话说, 当采用所谓的垂直离子研磨时, 难以使得位于纵向方向的 GMR 元件 705 的侧面 708 呈现锥形, 因为位于纵向方向的抗蚀剂膜 720X 的侧面所成的倾角 β 相对较大, 从而锥形角 θ 有可能大约等于 90 度。通过使离子束按照前述的角度范围与衬底 702 倾斜, 换句话说, 通过执行所谓的倾斜束入射离子研磨, 位于 GMR 元件 705 纵向方向的侧面 708 可以形成角度 θ 在 50 度到 85 度之间的锥形面。由于位于 GMR 元件 705 的纵向方向的侧面 708 具有锥形面, 有可能按照指定的方向排列 GMR 元件 705 中自由层的磁化方向, 该方向与没有外磁场施加到磁传感器上时的初始状态的纵向方向一致。

- 30 在抗蚀剂膜 720 回流前, 即使采用倾斜束入射离子研磨, 位于 GMR 元件 705 的纵向方向的侧面 708 也无法被加工成具有处于前述范围之内锥度 θ 。这是因为位于纵向方向的抗蚀剂膜 720 的侧面均成 90 度的倾斜角 β , 所以即使采用倾斜束入射离子研磨, 侧面 708 仍必然形成接近于 90 度的锥度 θ 。

也即，必须使得抗蚀剂膜 720 进行抗蚀剂回流以改变抗蚀剂膜 720X 的整个形状，使其倾斜角度 β 处于前述的范围之内；接着对回流后的抗蚀剂膜 720X 采用倾斜束入射离子研磨，使得位于纵向方向的 GMR 元件 705 的侧面 708 的 θ 在 50 度到 85 度之间。

- 5 通过执行抗蚀剂回流（见步骤 J11）和 GMR 研磨（见步骤 J12），位于 GMR 元件 705 的短边方向的另一侧面 709 形成锥形面，其中其倾斜角度在 30 度到 80 度之间。

10 存在的问题是当采用垂直离子研磨时，通过离子研磨切除的材料必定容易重新粘附到位于 GMR 元件 705 的纵向方向的侧面 708 上。在本实施例中，在采用倾斜束入射离子研磨前，衬底 702 以图 87A 和 87B、图 88A 和 88B、图 89A 和 89B 所示的方式旋转，在所有方向进行倾斜束入射离子研磨，以避免出现不希望的材料再附着，于是提高工艺精确度。

15 由于 GMR 元件 705 由一种金属或磁性物质构成，与回流后的抗蚀剂膜 720X 相比，离子研磨速度相对较高。与垂直离子研磨相比，倾斜束入射离子研磨的优点在于：GMR 元件 705 的侧面可以被加速形成锥形面，于是提高制作的产量。

20 当衬底 702 和回流后的抗蚀剂膜 720X 之间形成的倾斜角度较大时，即使采用倾斜束入射离子研磨，GMR 元件 705 中对应于未被离子束照射到的阴影部分的指定侧面可能在其底部留有痕迹，由此这些部分容易再粘附被离子研磨掉的材料。当采用倾斜束入射离子研磨时同时旋转衬底 702，有可能去除再粘附。

25 为了改进 GMR 元件 705 使得在执行倾斜束入射离子研磨后侧面不会在底部留下痕迹，需要通过使离子束沿垂直方向加在衬底 702 上对 GMR 元件进行离子研磨（见步骤 J12）。即使在倾斜束入射离子研磨后采用垂直离子研磨，有可能防止被离子研磨切去材料又回淀到位于 GMR 元件 705 纵向方向的侧面 708 上，因为侧面 708 已经形成了锥形面。

接着，进行抗蚀剂除去（见步骤 J13），其中采用由丙酮、N-methyl-2-pyrrolidone 组成的清洗液部分去除抗蚀剂膜 720X，使得 GMR 元件 705 的表面被清洗。

30 接着，进行到 SiO_x 成膜（见步骤 J14），其中如图 90 所示，在 GMR 元件 705 的上表面采用等离子化学气相沉积的方法以形成由氧化硅膜组成的、

厚度约为 150 纳米的第一保护膜 715。

接着, 进行到 SiN 成膜 (见步骤 J15), 其中在第一保护膜 715 的上表面采用等离子化学气相沉积的方法来形成由氮化硅膜组成的、厚度约为 300 纳米的第二保护膜 716。

- 5 第一保护膜 715 和第二保护膜 716 可以被统一称作保护膜 717。也可以在第一保护膜 715 和第二保护膜 716 之上另外形成一由聚酰亚胺树脂组成的第三保护膜。

- 接着, 进行到后处理工艺 (见步骤 J16), 其中在第一保护膜 715 和第二保护膜 716 的指定位置形成开口; 形成衬垫; 然后, 衬底 702 被切割以划成分立的芯片, 每个芯片用树脂封装。
- 10

本实施例的磁传感器有以下优点: 可以充分控制 GMR 元件响应外磁场的磁各向异性; 通过改善自由层中磁化的均匀性可以确保磁传感器响应外磁场时输出的稳定性; 以及甚至在强磁场施加到磁传感器后, 可以精确恢复自由层中在初始状态下建立的原始磁化方向。

- 15 按照根据本实施例的磁传感器的制作方法, 可提高磁传感器响应外磁场的输出稳定性, 而不会过多改变 GMR 元件的膜结构和磁传感器的形成图形。

接着, 将通过多个样品对本实施例作进一步详细的描述, 这些样品被制作出来用于试验和测量。

- 按照根据第七实施例的磁传感器的制作方法, 制作了多种具有厚度为 40 20 纳米的 GMR 元件的磁传感器, 其中每个磁传感器样品包括均呈带状且形状比设定为“16”的 GMR 元件, 其中偏磁层位于 GMR 元件的两端, 其位于纵向方向的侧面形成锥形面 (θ 设定为 75 度)。

- 在试验中, 对磁传感器施加外磁场, 然后撤消外磁场; 其后, 沿自由层易轴方向 (即, GMR 元件的纵向方向) 施加一个强度为 40 奥斯特的初始磁 25 场, 于是, 测量磁传感器的输出以检测相比较于放置在初始状态的磁传感器输出的输出变化。结果显示当从初始状态计算的输出变化变小时; 自由层的磁化方向可被精确恢复以与初始状态下 GMR 元件的纵向方向一致。

图 91 显示了外部施加的磁场和磁传感器的下述各种样品的输出变化之间的关系。

- 30 比较样品 1 是按照前述的制作方法生产的, 其中它实现具有厚度约 40 纳米的 GMR 元件的磁传感器, 其中呈带状的 GMR 元件将形状比设定为

“16”。接着，比较样品 1 的磁传感器的输出变化按上述方法测量。结果用与点线连接的小圆标记标绘在图 91 中。

比较样品 2 是按照前述的制作方法生产的，其中它实现具有厚度为 40 纳米的 GMR 元件的磁传感器，其中 GMR 元件设计成具有形状比“16”，并且其中偏磁层被设置在 GMR 元件的两端。接着，测量比较样品 2 的磁传感器的输出变化。结果用与虚线连接的小三角标记标绘在图 91 中。

此外，也测量了按照本实施例的磁传感器的输出变化，结果用与实线连接的“x”标记在图 91 中画出。

图 91 显示比较样品 1 和比较样品 2 的磁传感器在施加强磁场后自由层的磁化方向必定与初始状态原始建立的纵向方向形成偏差。与此相反，在本实施例的磁传感器中，GMR 元件的侧面在纵向方向形成锥形面，优势在于即使在施加强磁场之后，自由层的磁化方向仍可以精确恢复到初始状态。

接着，将描述对第七实施例进行的各种变化。

第一个变化（见图 93A 和图 93B）被设计用于提高偏磁层的粘附性，方法是采用 Z 字形 GMR 图案来覆盖偏磁层的上表面，其中 GMR 元件可进行锥形成形。

第二个变化（见图 94A 和图 94B）被设计用于在偏磁层上形成 GMR 元件时提供定位精度的一定余量，方法是采用其中 GMR 元件的弯曲部分被设置在偏磁层内部的 Z 字形 GMR 图案，其中 GMR 元件可进行锥形成形。

第三个变化（见图 95A 和图 95B）被设计用于提高在 GMR 元件两端处自由层的磁化均匀性，方法是采用其中在 GMR 元件的弯曲部分之内形成切口的 Z 字形 GMR 图案，其中 GMR 元件可进行锥形成形。

第四个变化（见图 96A、图 96B 和图 96C）被设计采用一 Z 字形 GMR 图案，其中在偏磁层外面设置 GMR 元件的弯曲部分外面的指定部分以覆盖偏磁层的上表面和侧面，其中切口形成于 GMR 元件的弯曲部分内，并且其中 GMR 元件可进行锥形成形。

由于本发明可以在不背离其精神和基本特征的情况下以多种形式实施，因而本实施例是例证性的，而不是限制性的，因为本发明的保护范围由所附的权利要求书限定，而不是由前面的描述限定，因此所有落在权利要求的界限和范围内的或者等效的界限和范围内的改变都已经被权利要求所涵盖。

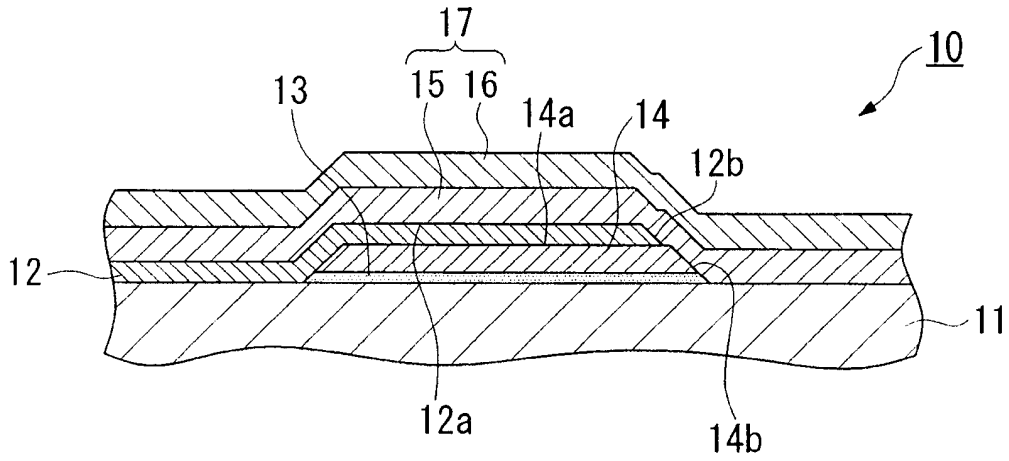


图 1

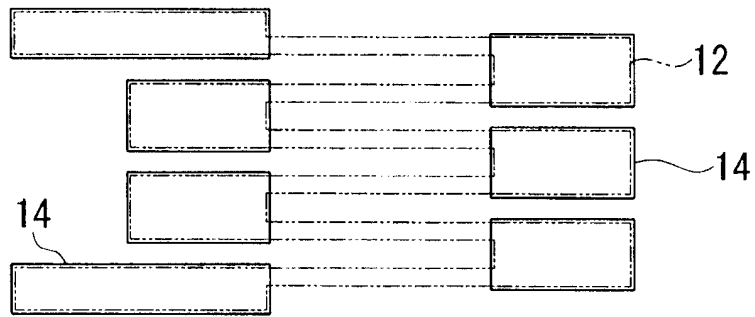


图 2A

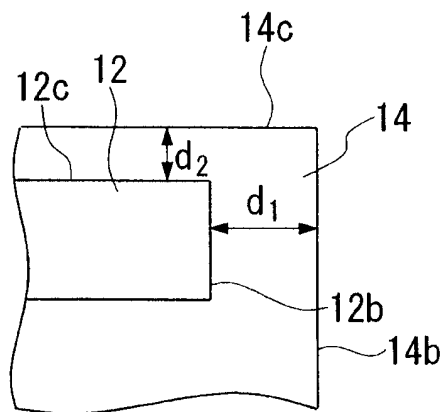


图 2B

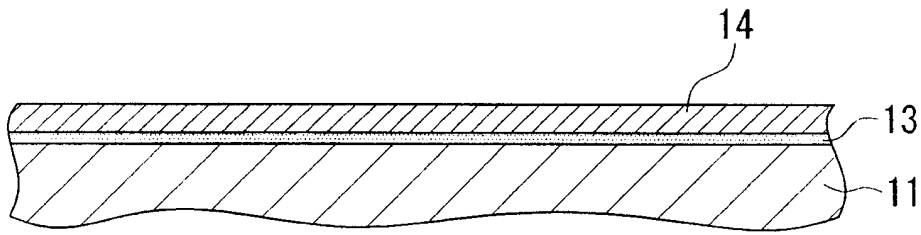


图 3

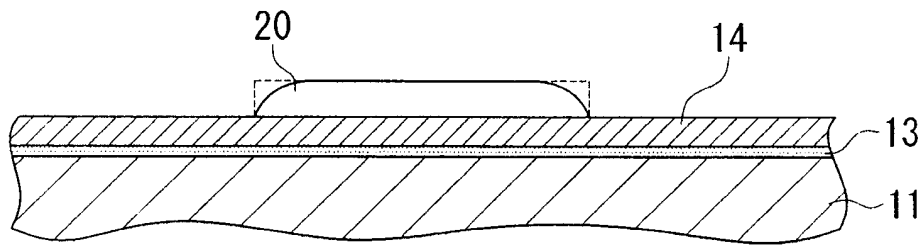


图 4

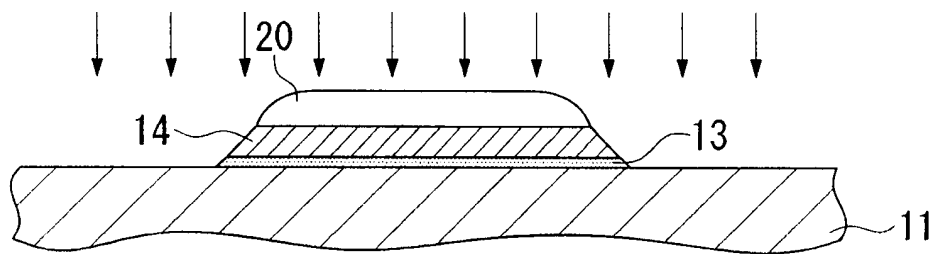


图 5

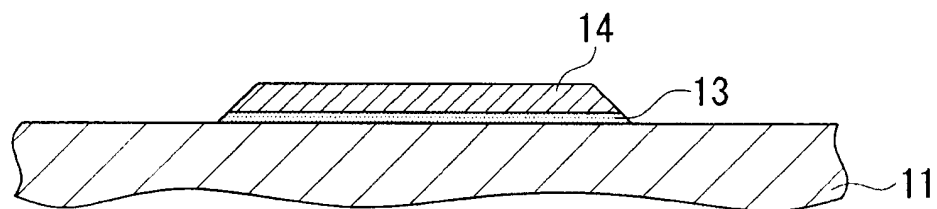


图 6

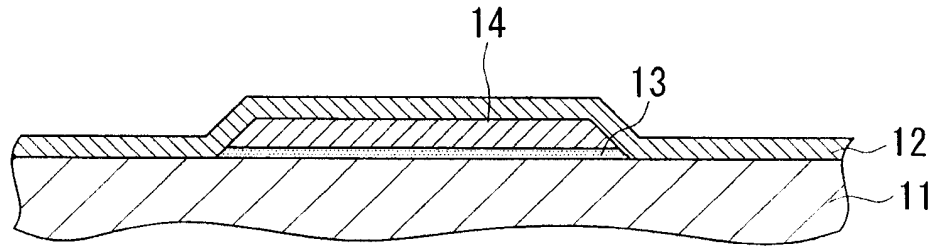


图 7

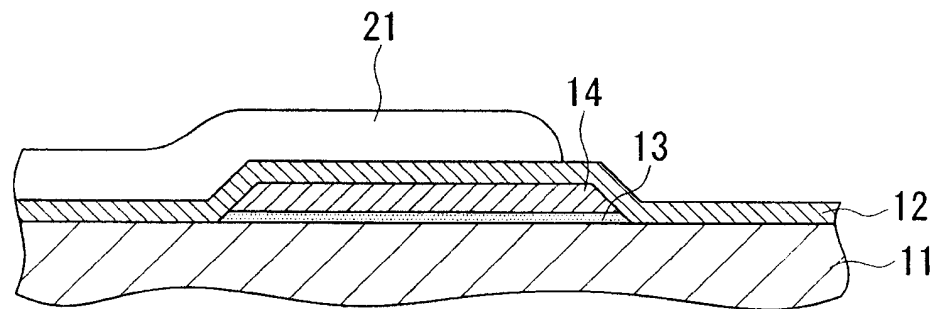


图 8

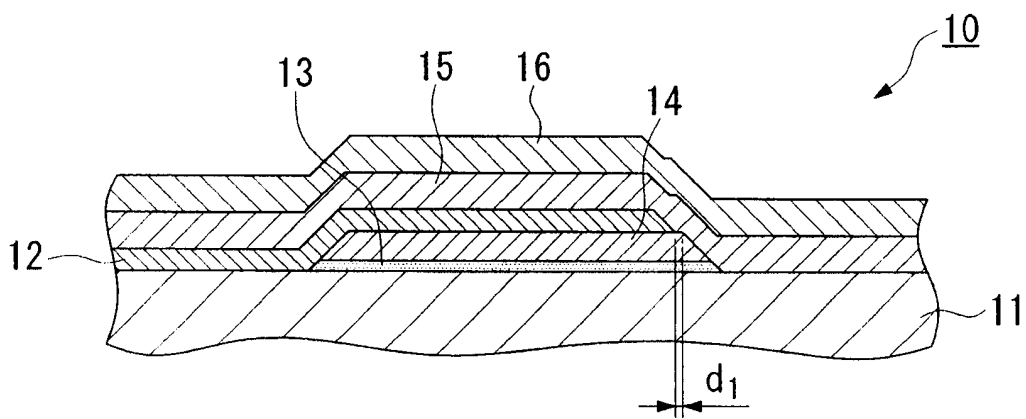


图 9

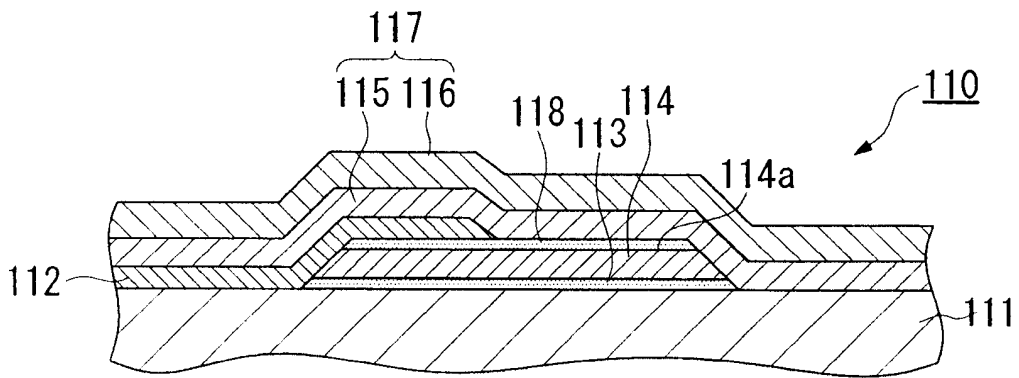


图 10

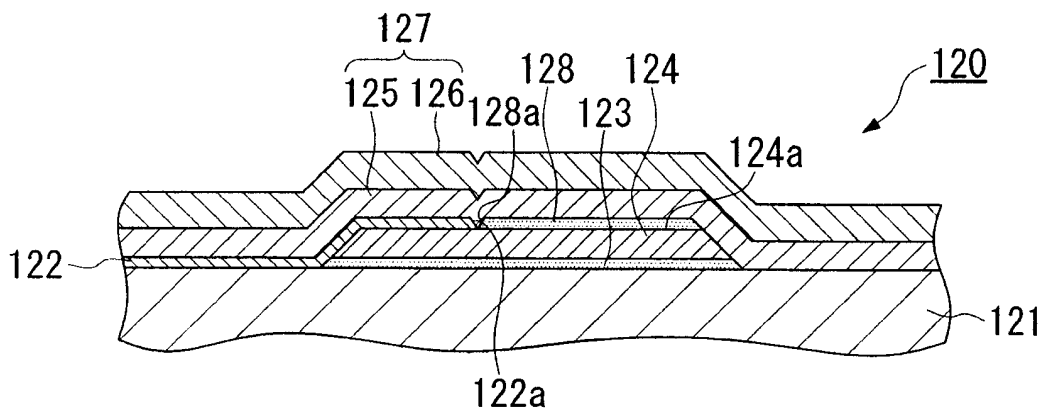


图 11

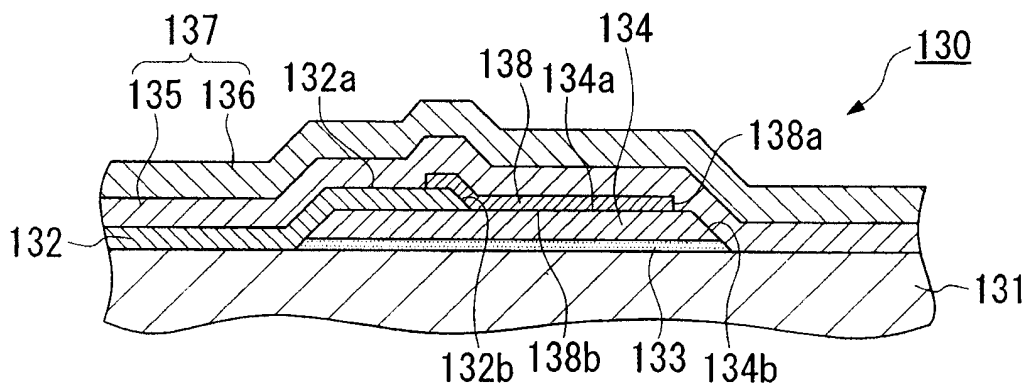


图 12

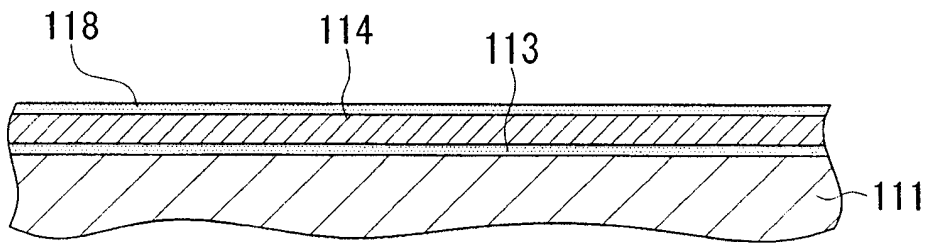


图 13

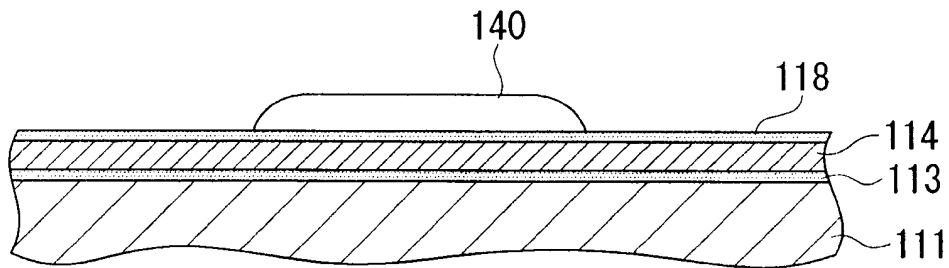


图 14

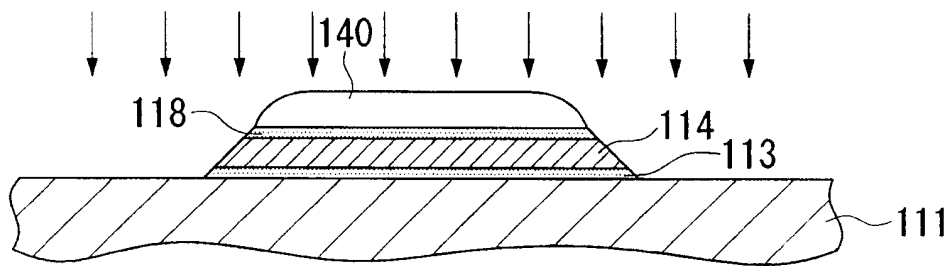


图 15

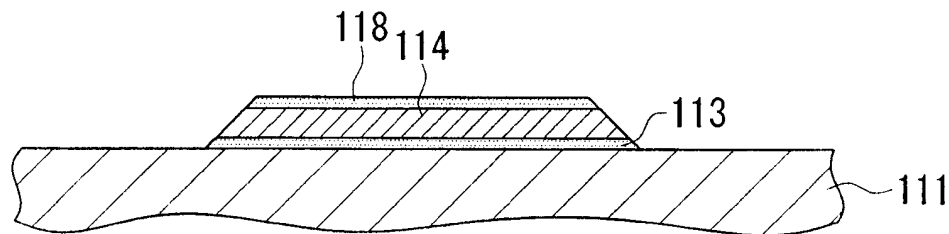


图 16

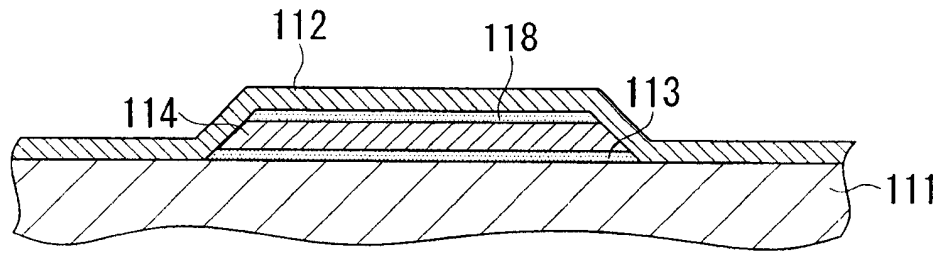


图 17

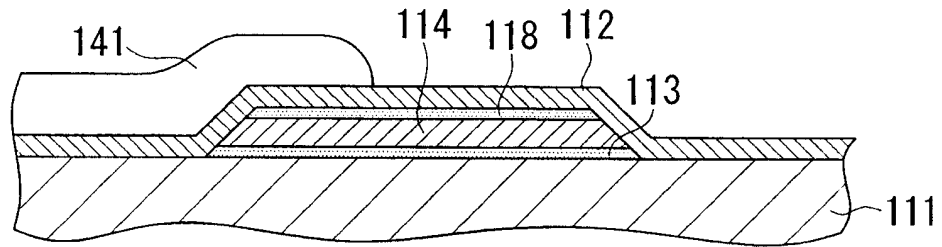


图 18

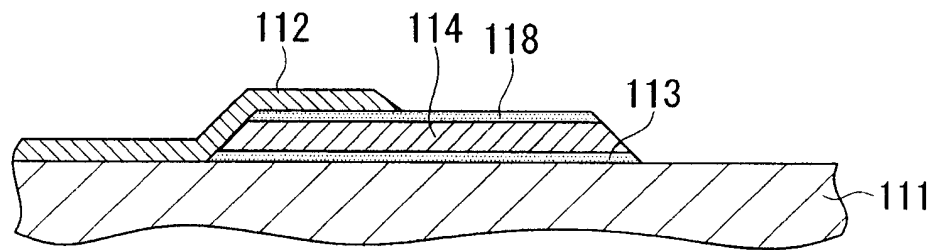


图 19

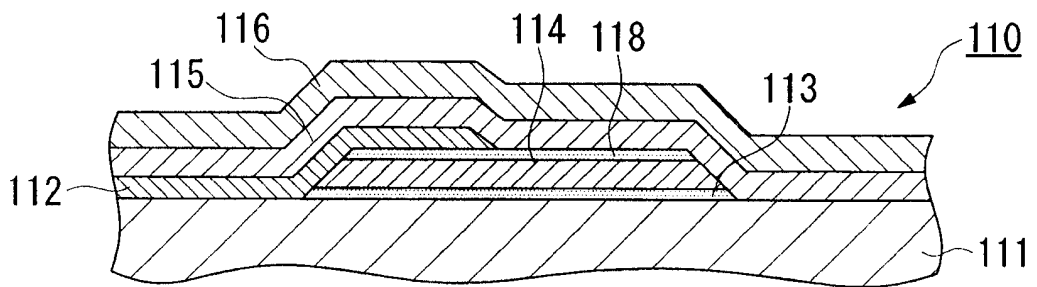


图 20

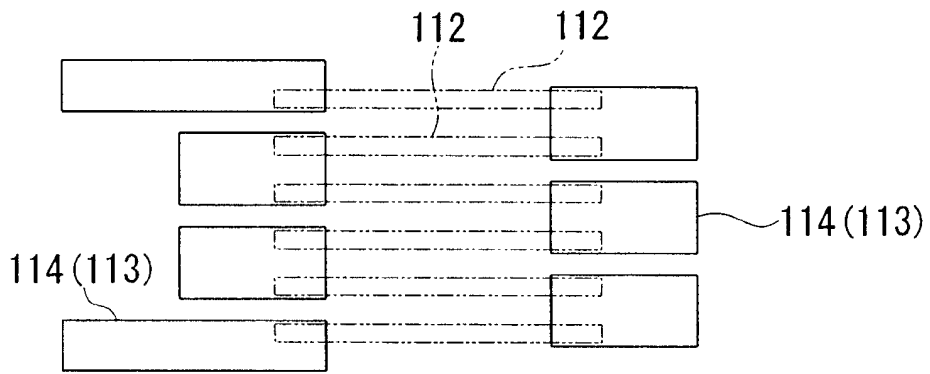


图 21

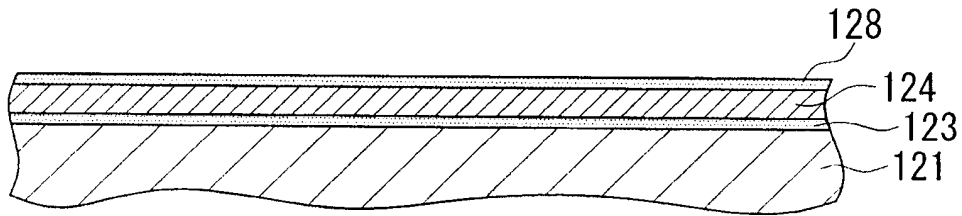


图 22

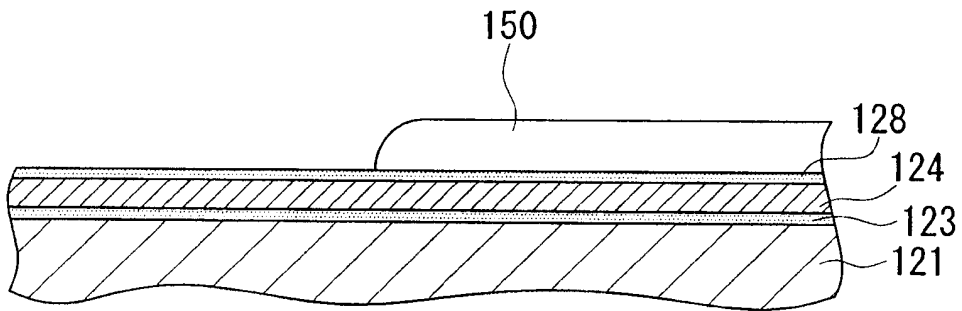


图 23

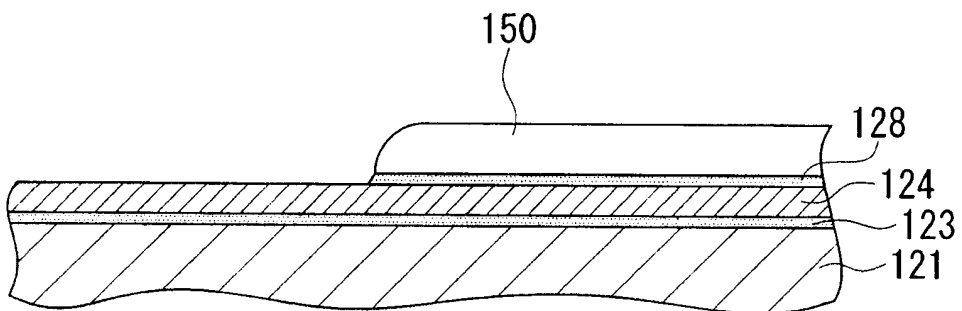


图 24

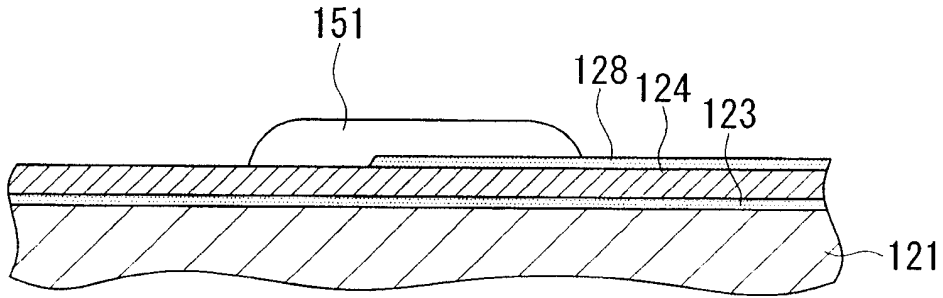


图 25

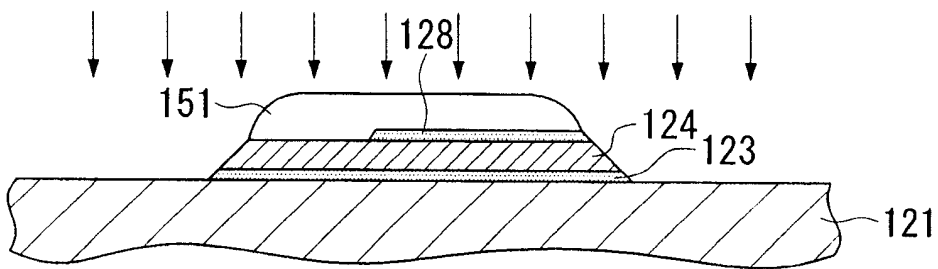


图 26

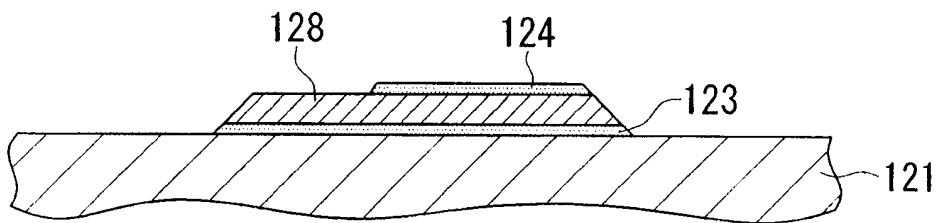


图 27

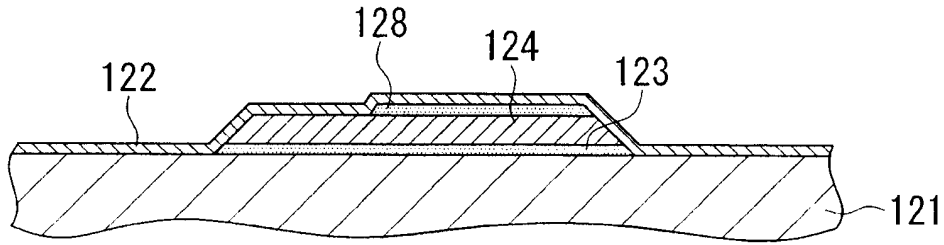


图 28

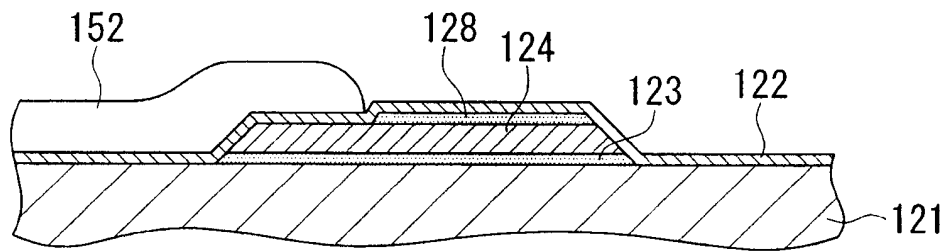


图 29

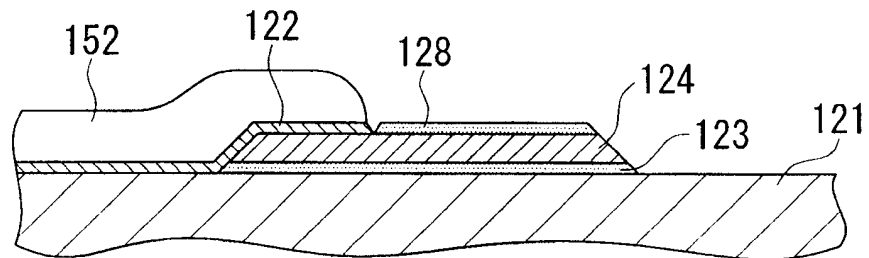


图 30

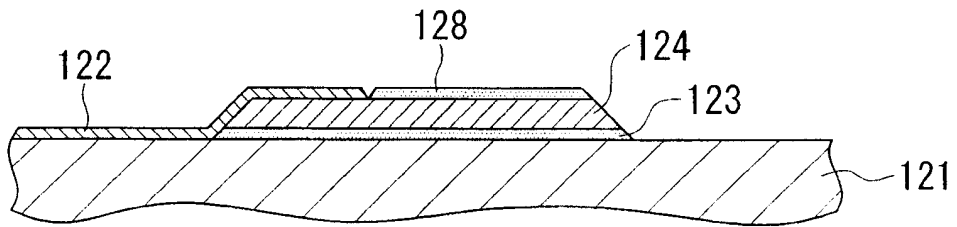


图 31

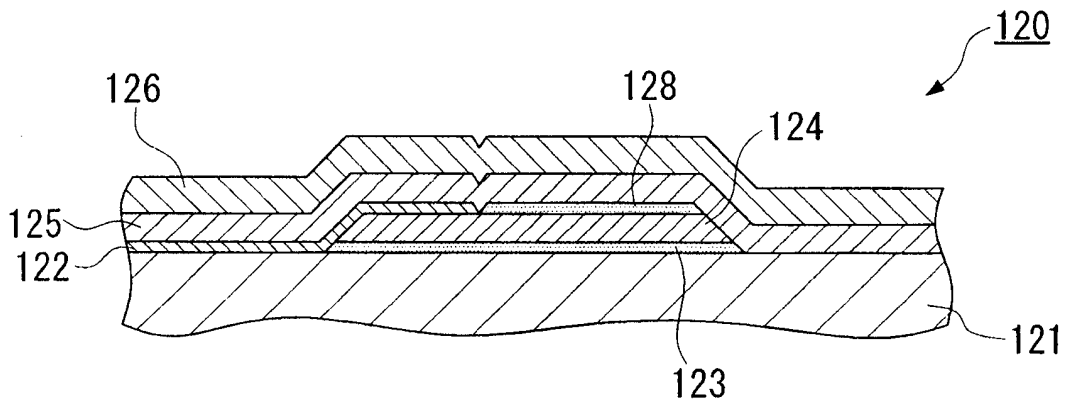


图 32

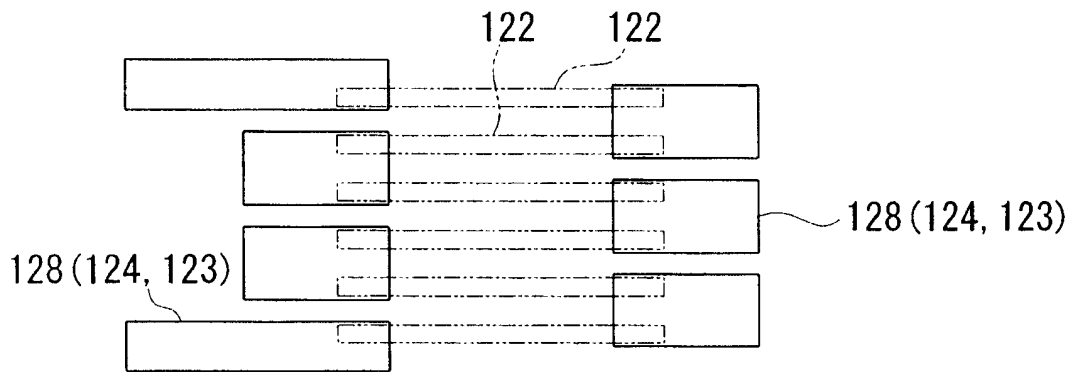


图 33

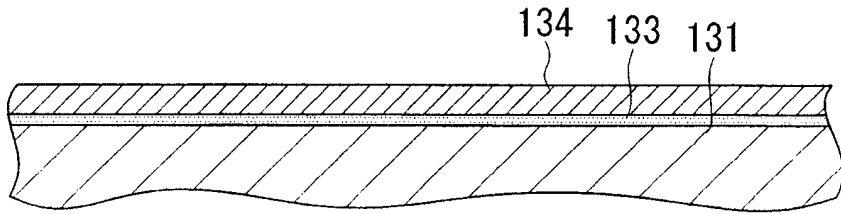


图 34

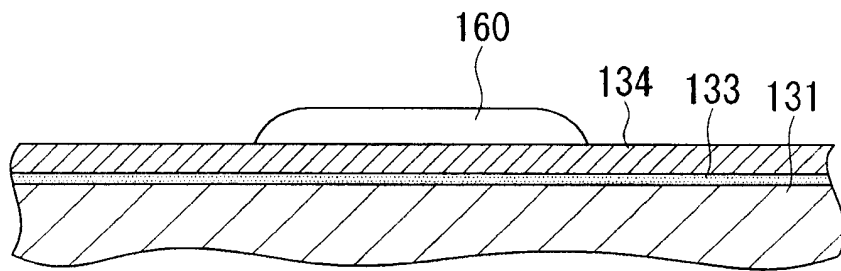


图 35

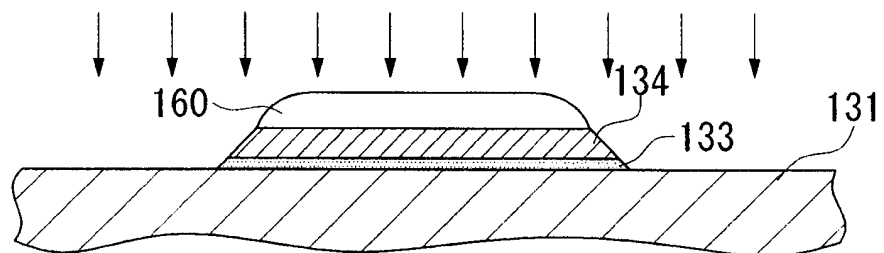


图 36

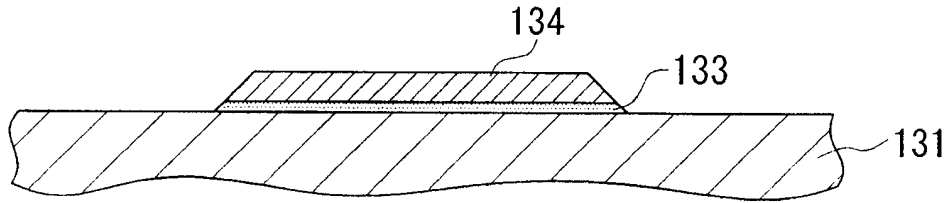


图 37

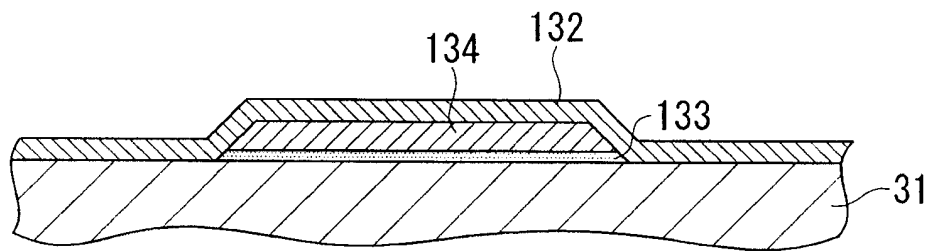


图 38

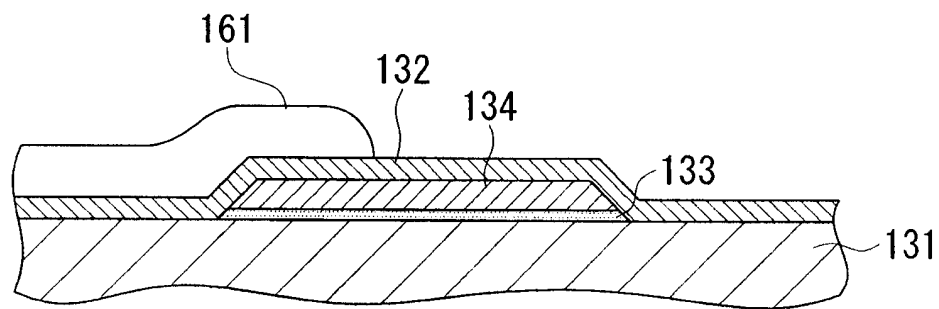


图 39

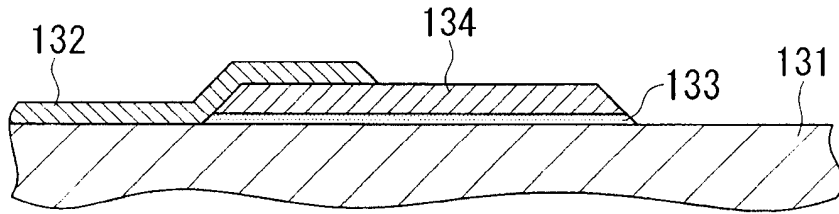


图 40

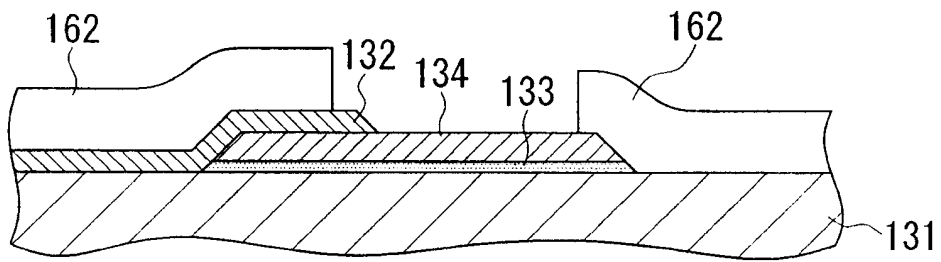


图 41

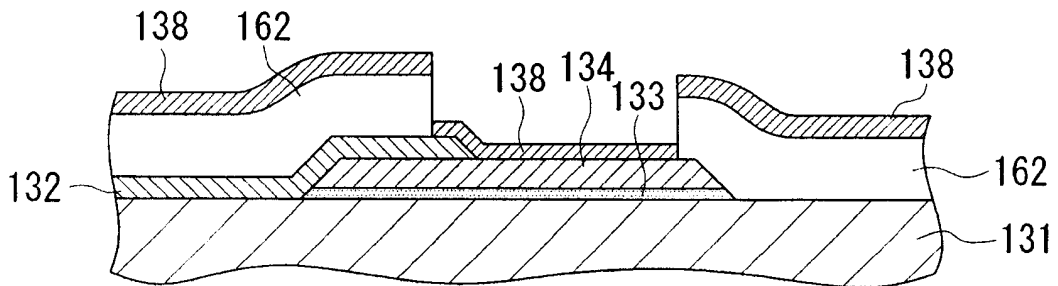


图 42

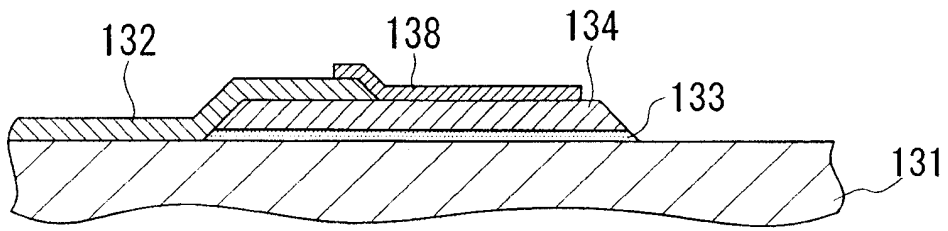


图 43

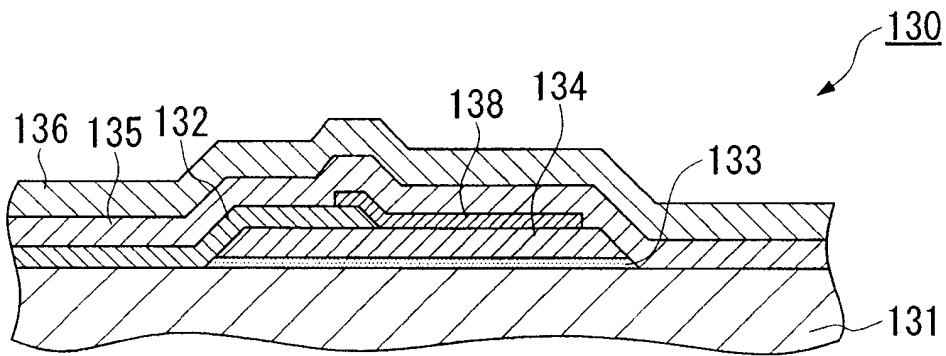


图 44

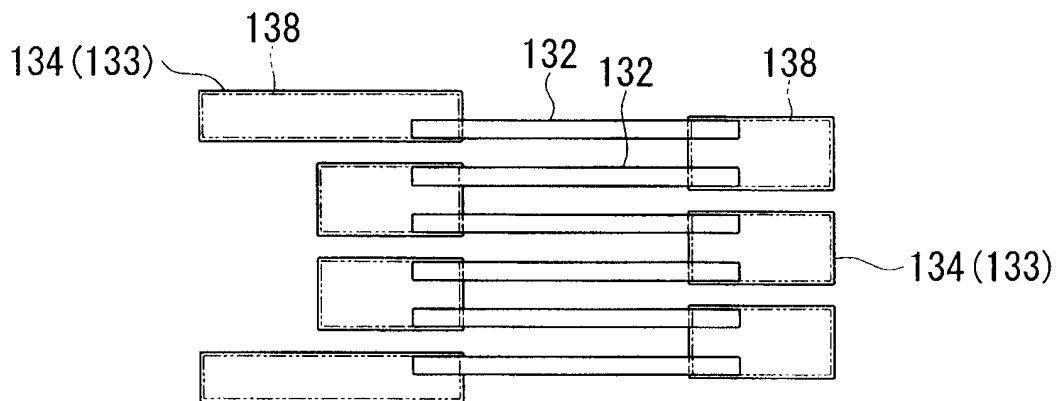


图 45

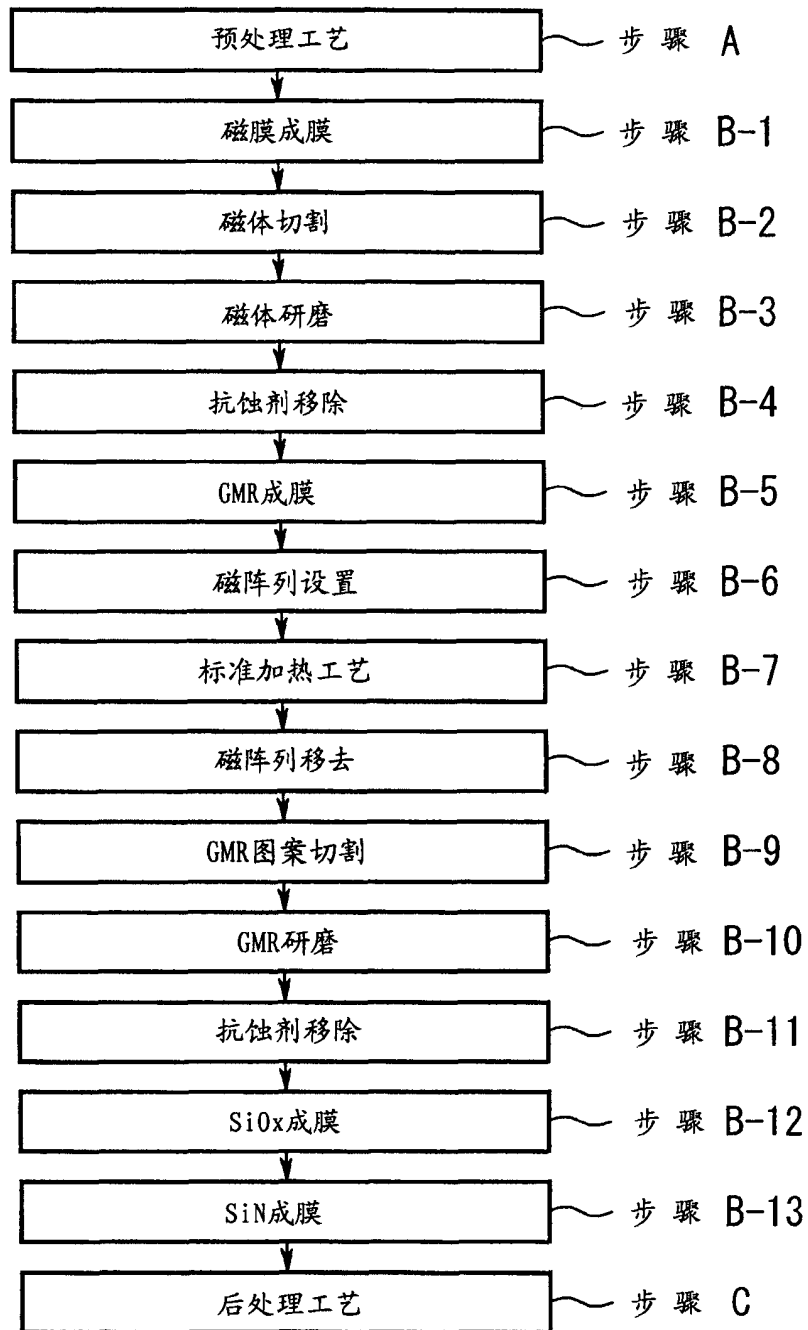


图 46

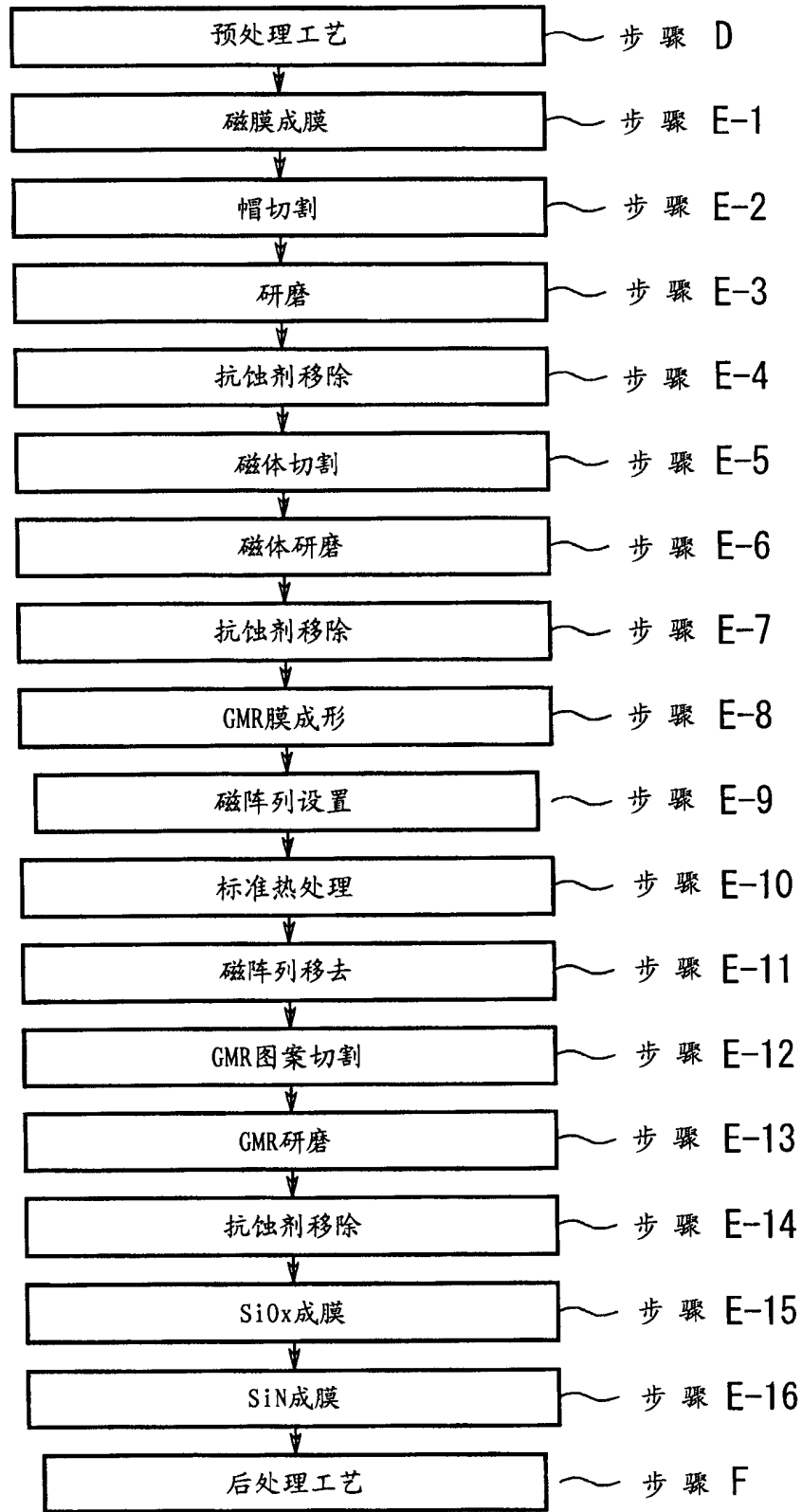


图 47

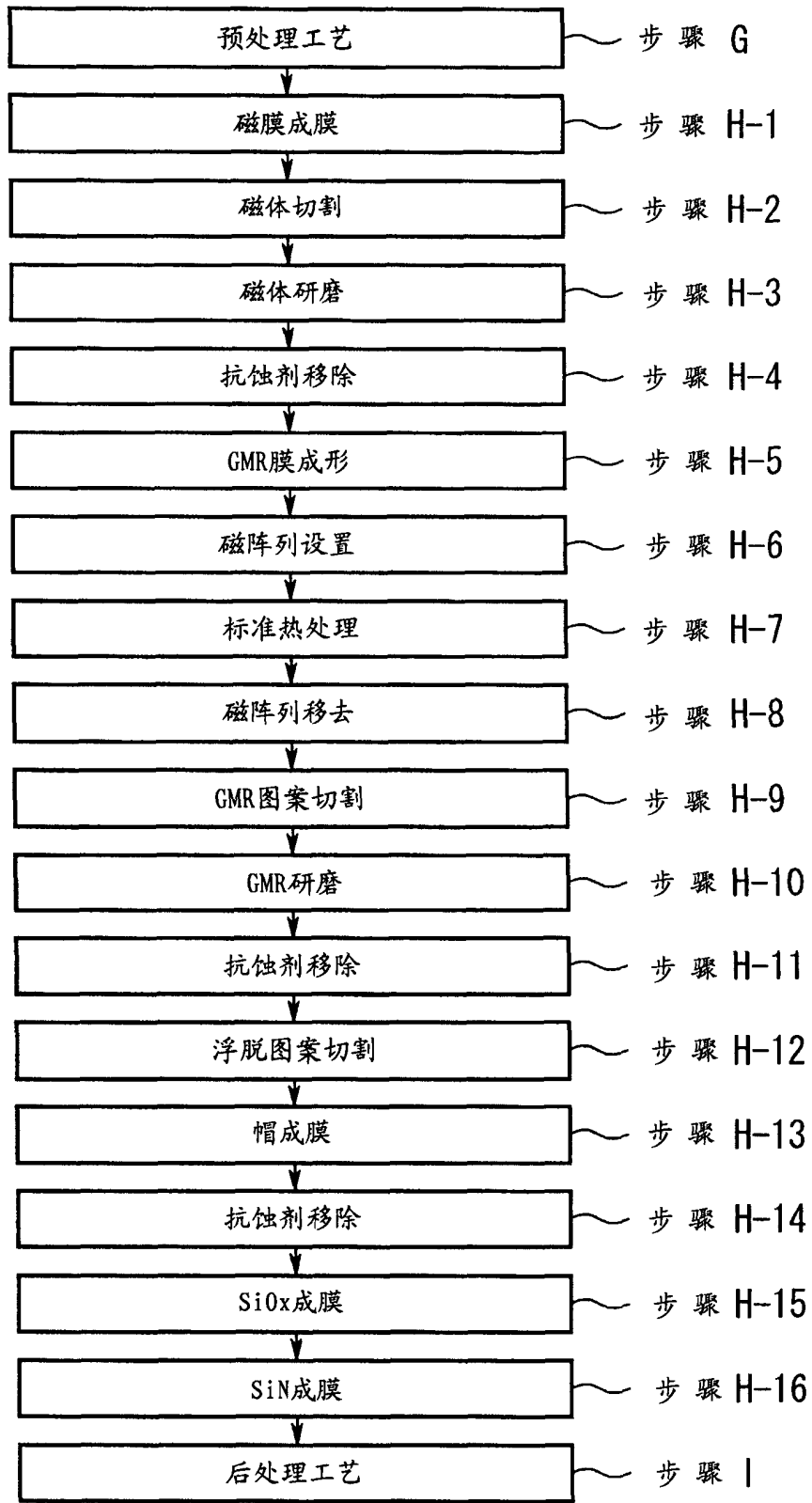


图 48

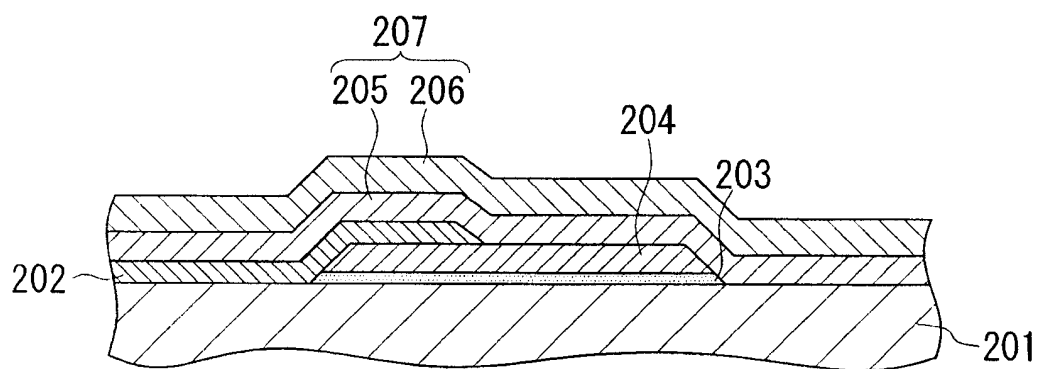


图 49

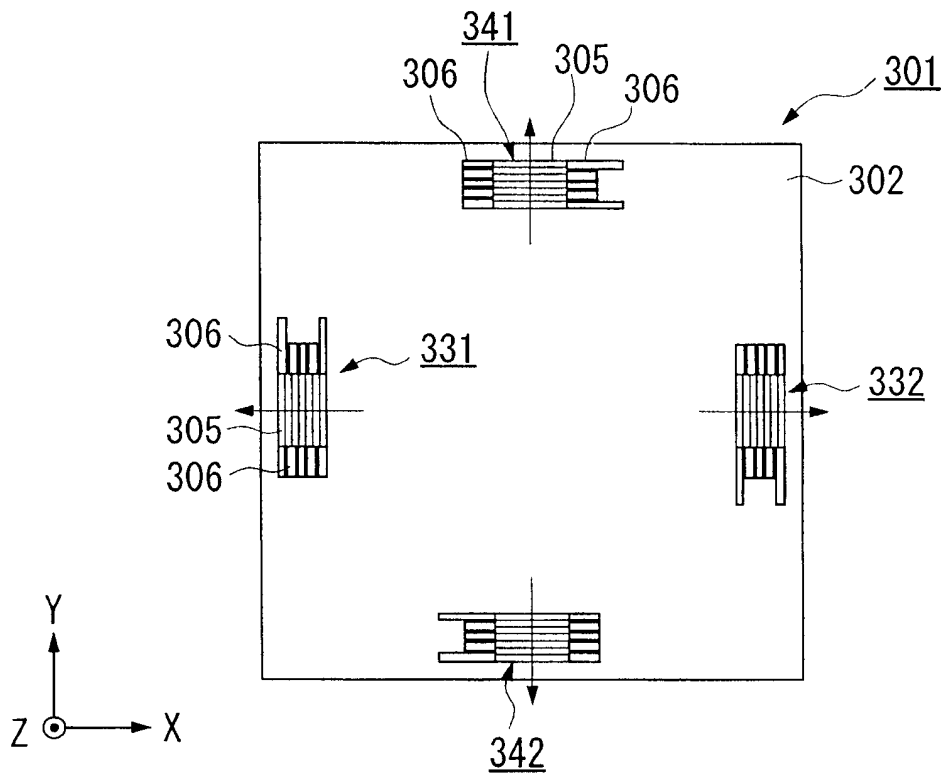


图 50

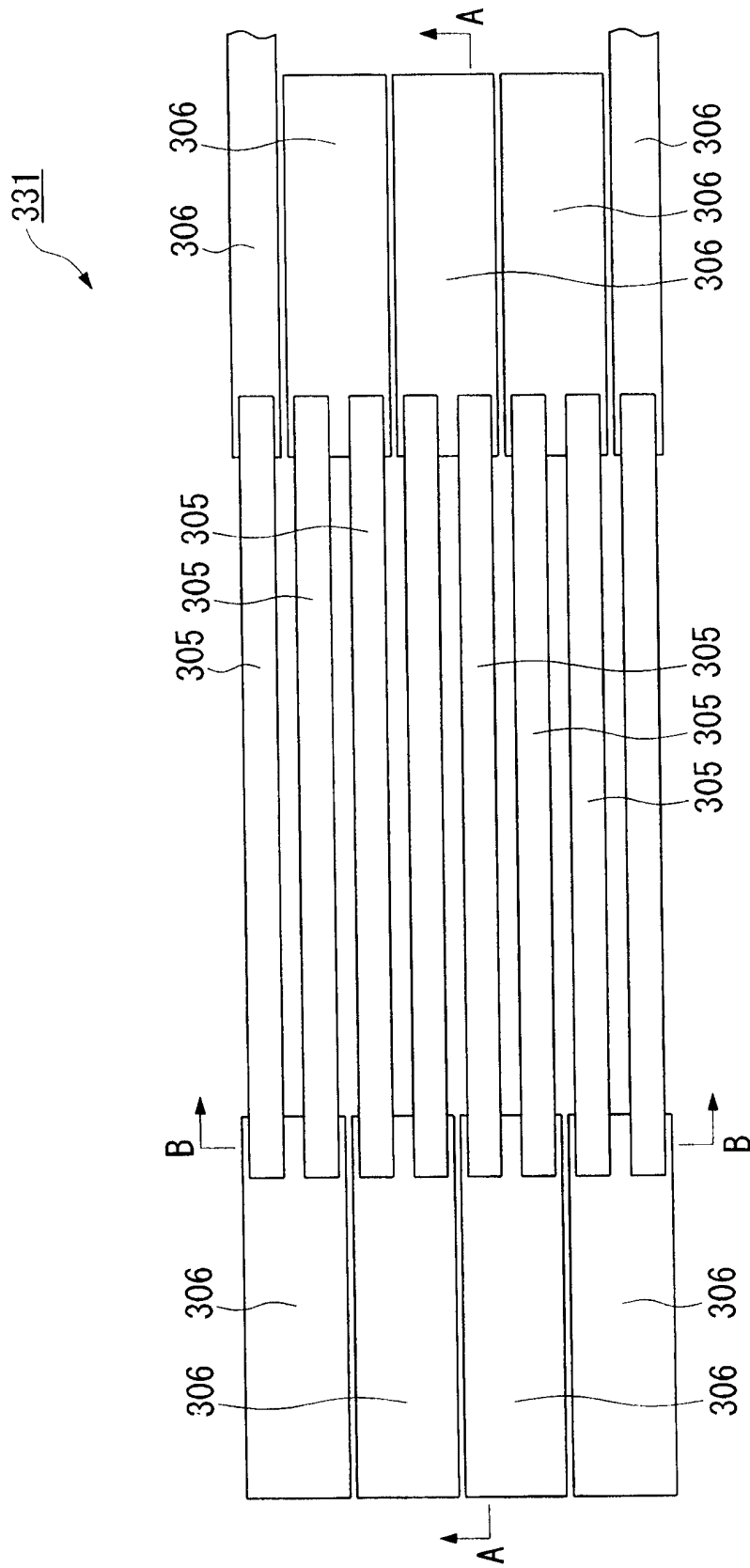


图 51

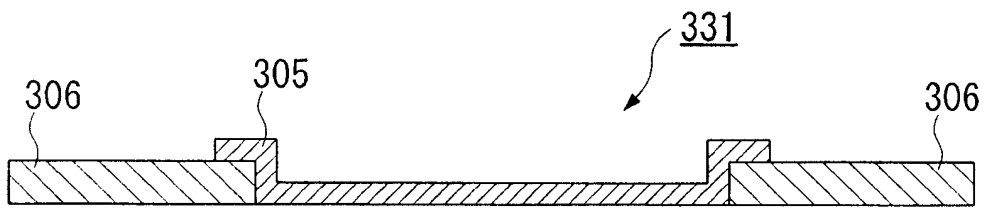


图 52

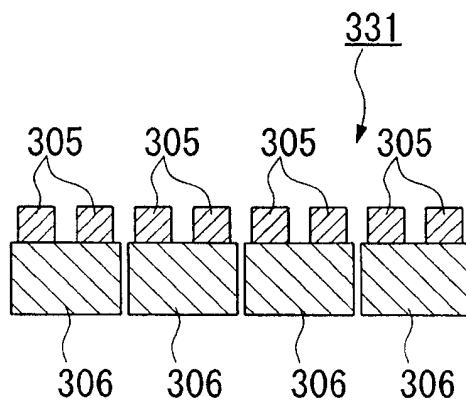


图 53

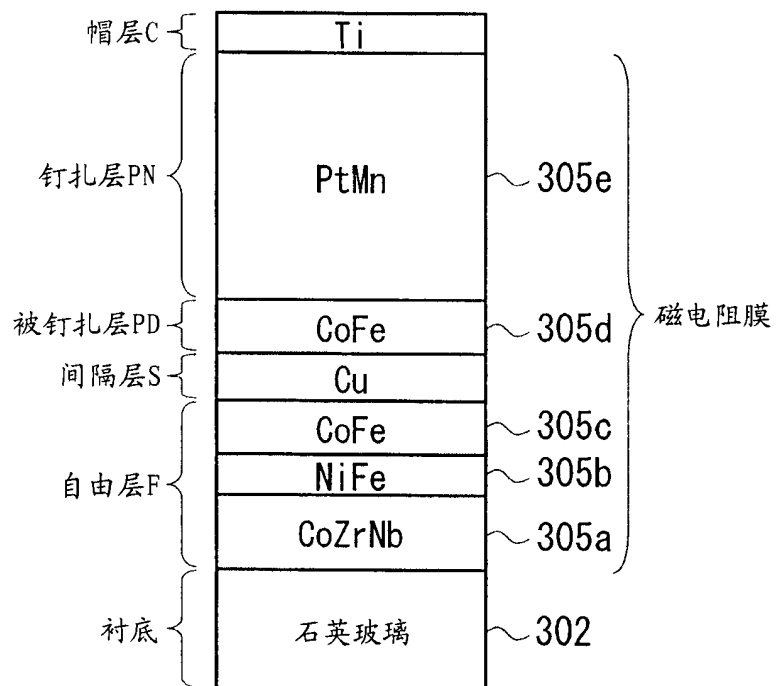


图 54

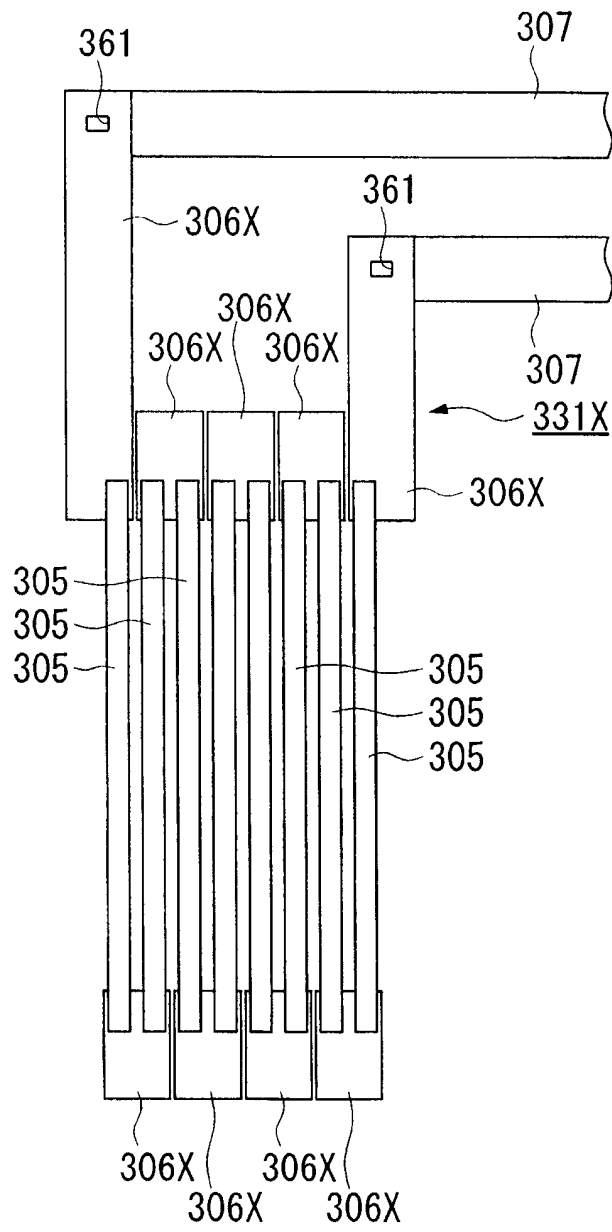


图 55

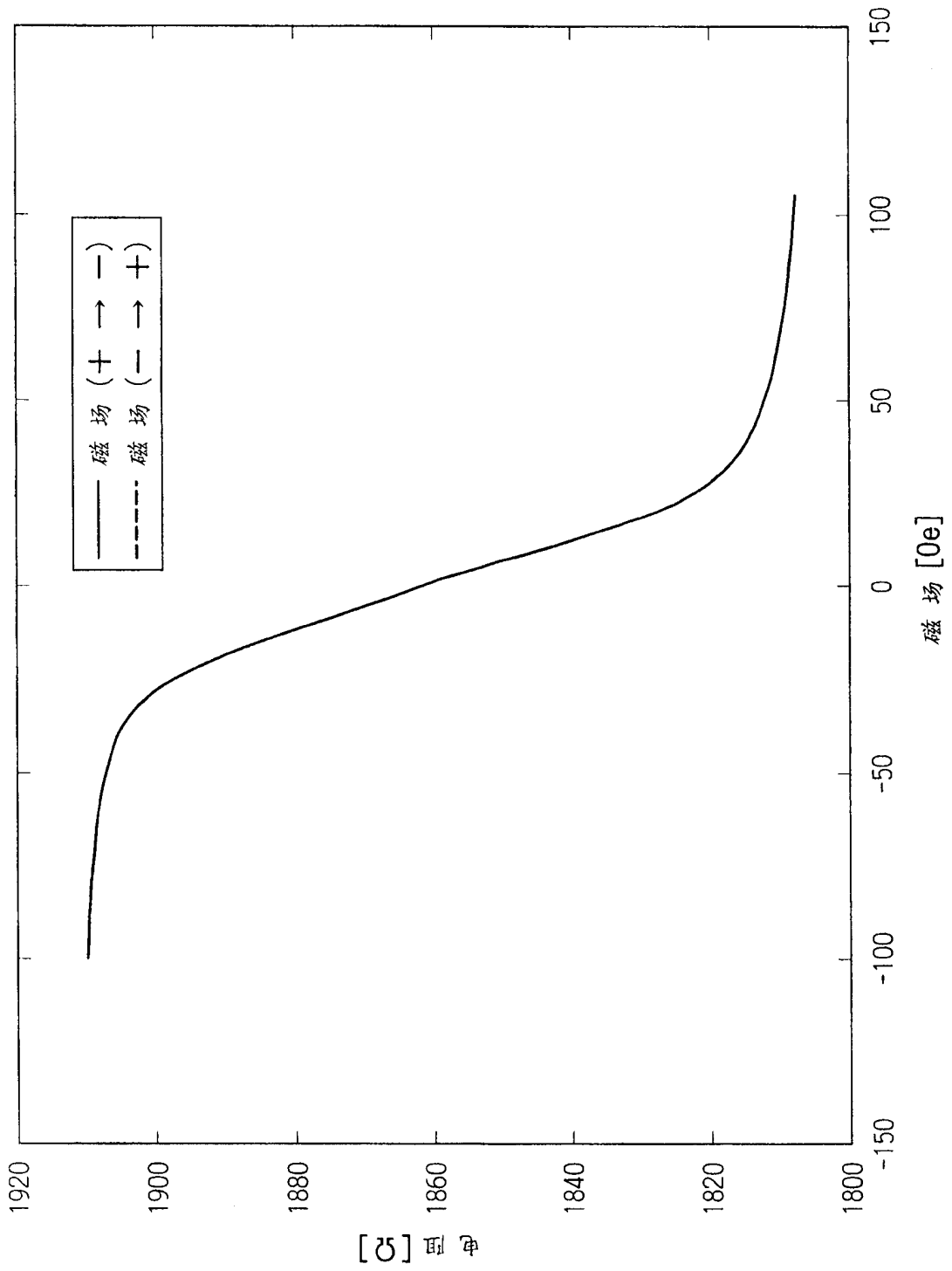


图 56

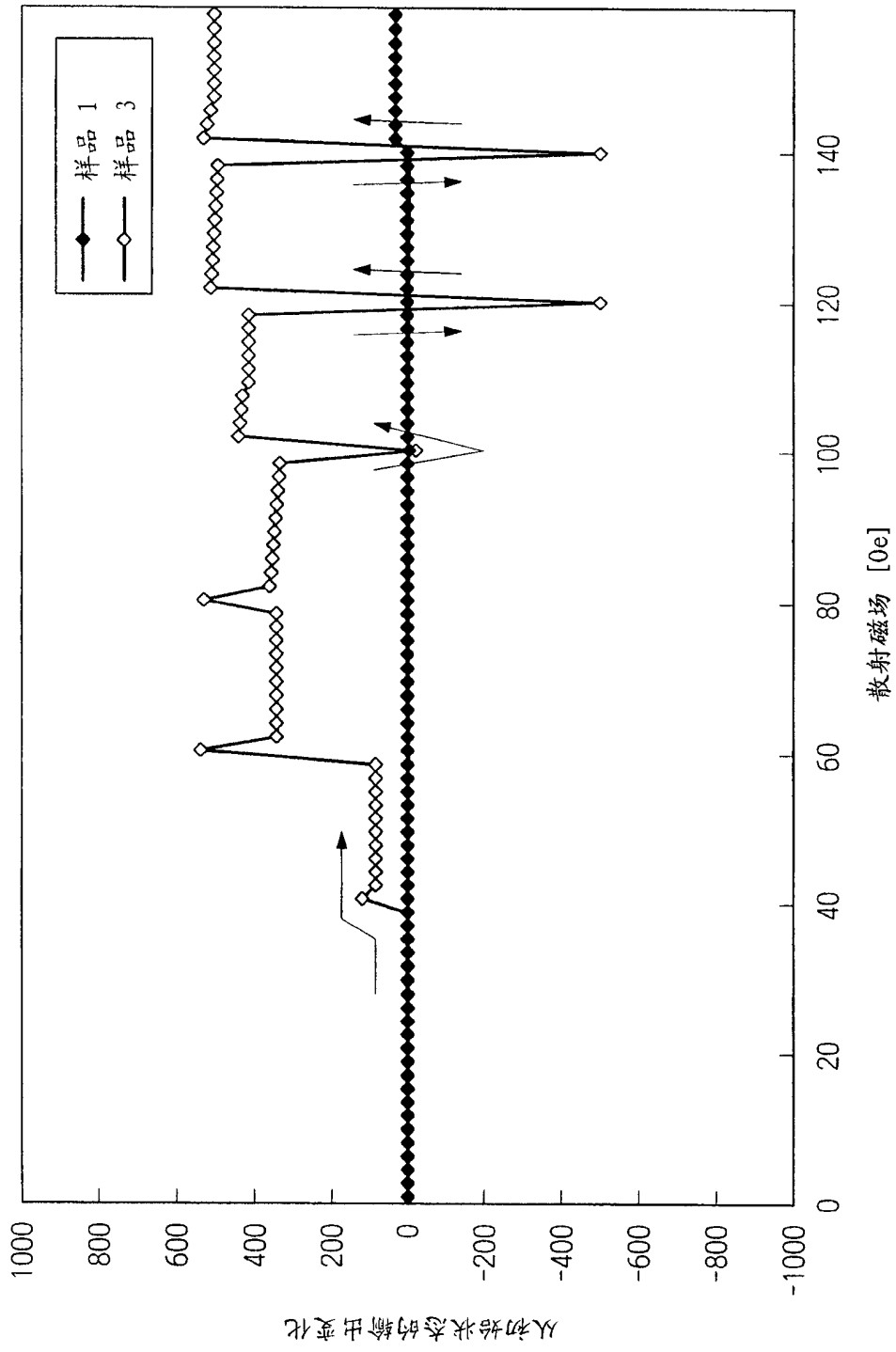


图 57

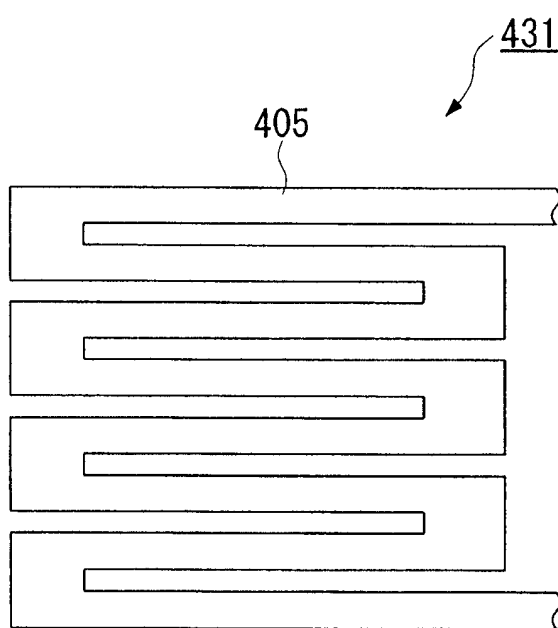


图 58

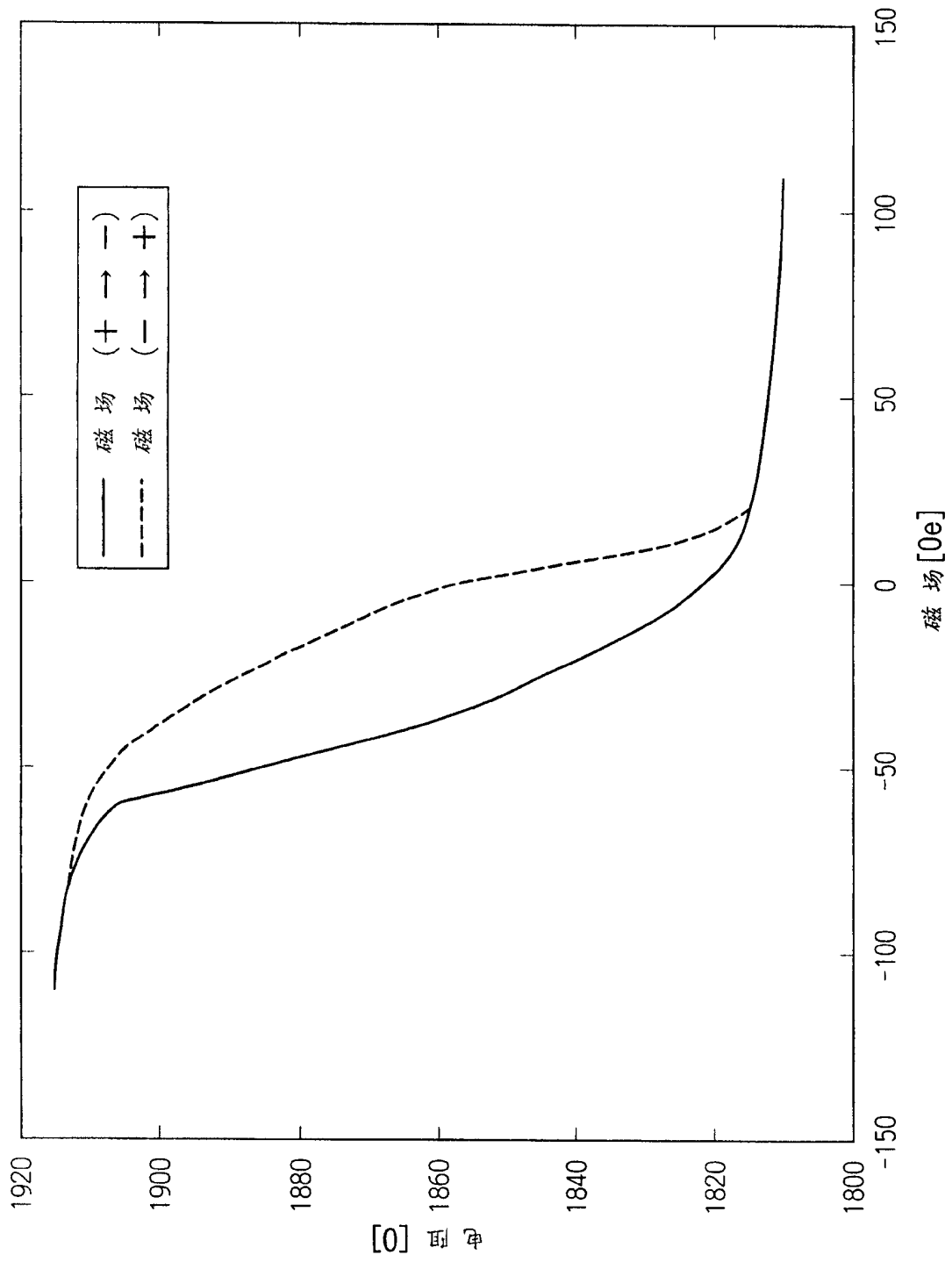


图 59

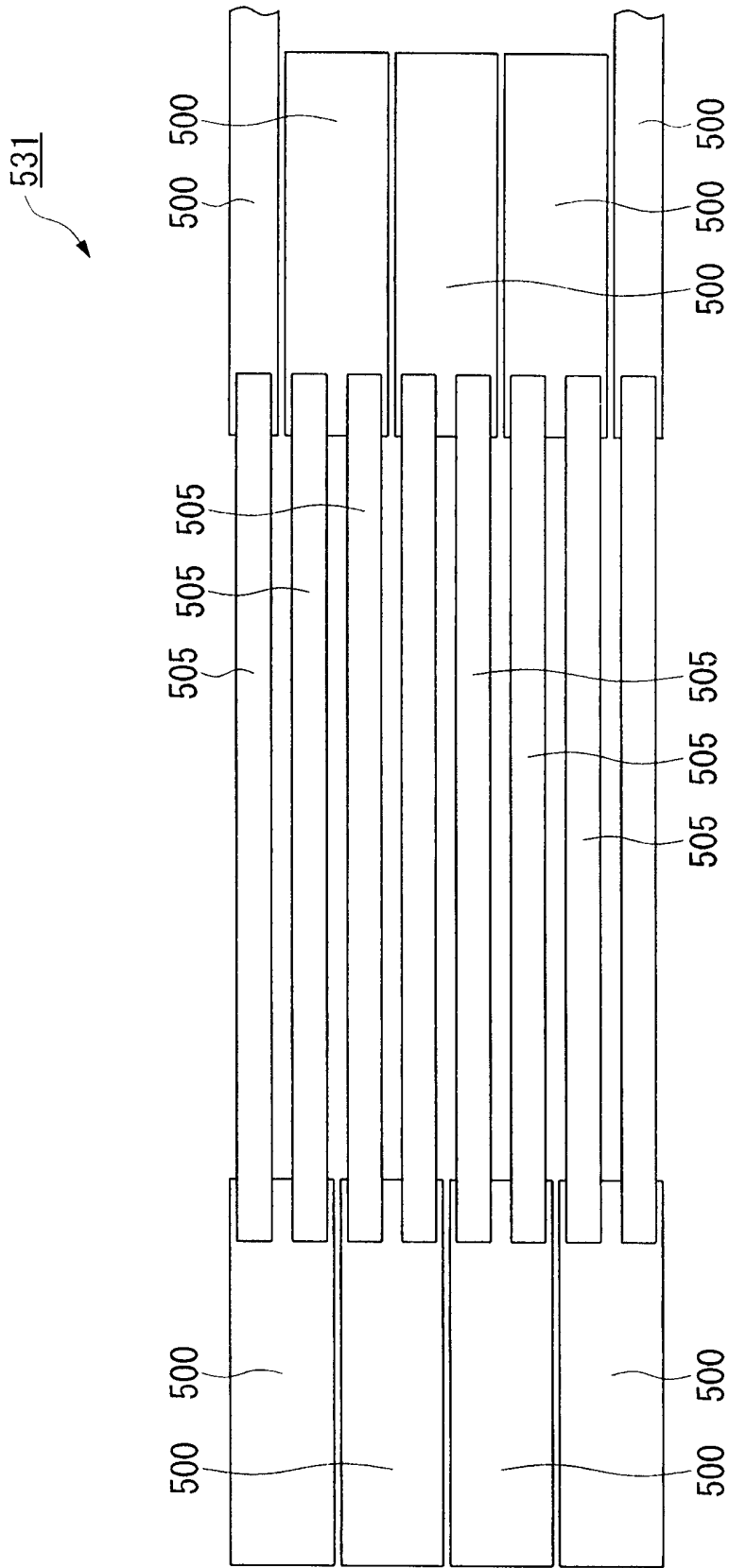


图 60

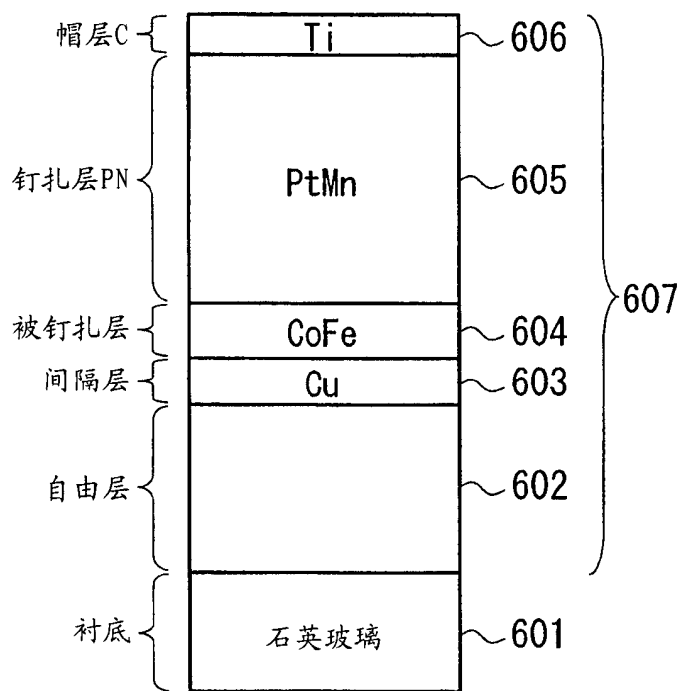


图 61

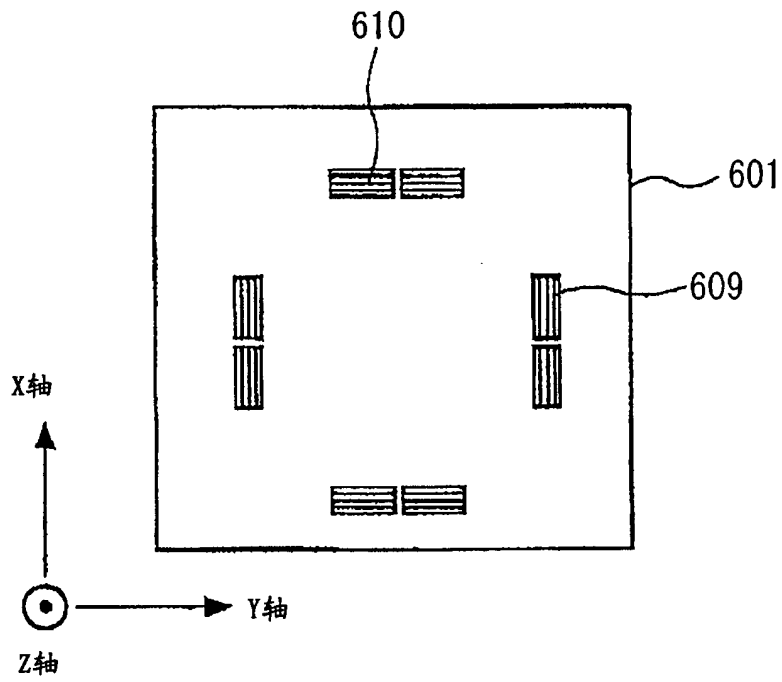


图 62

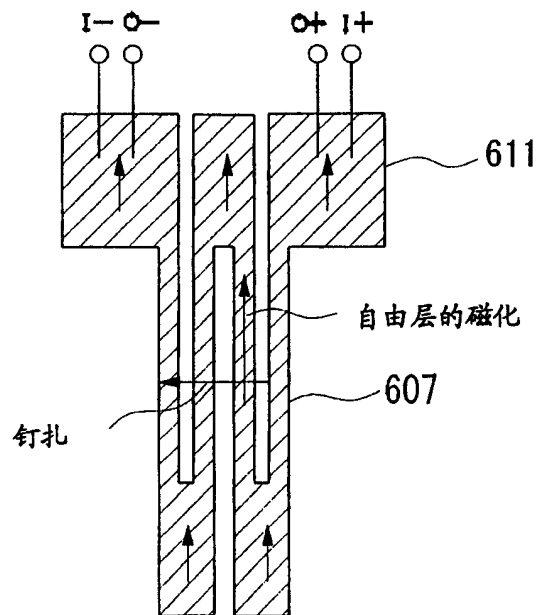


图 63

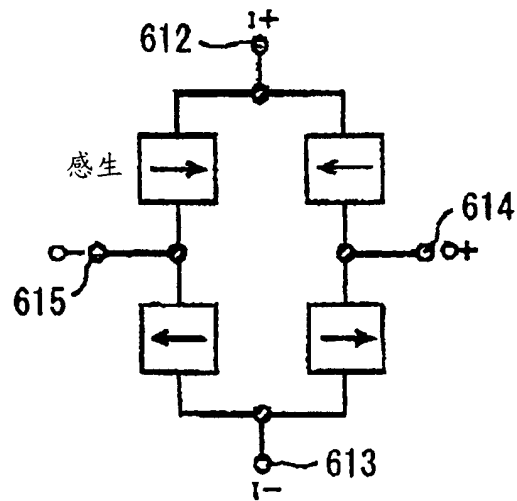


图 64

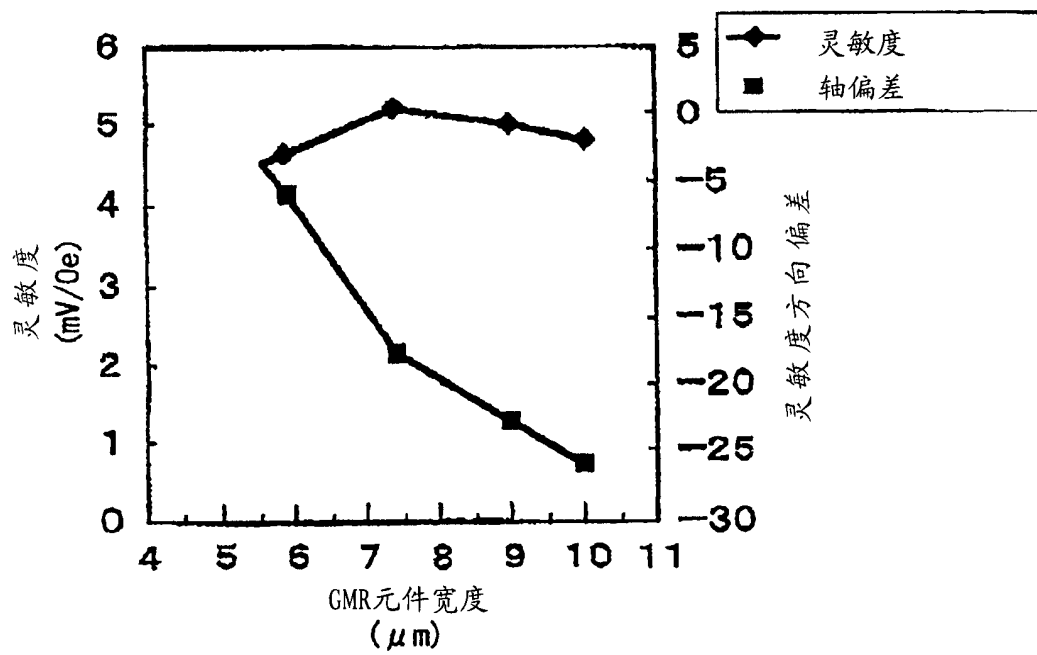


图 65

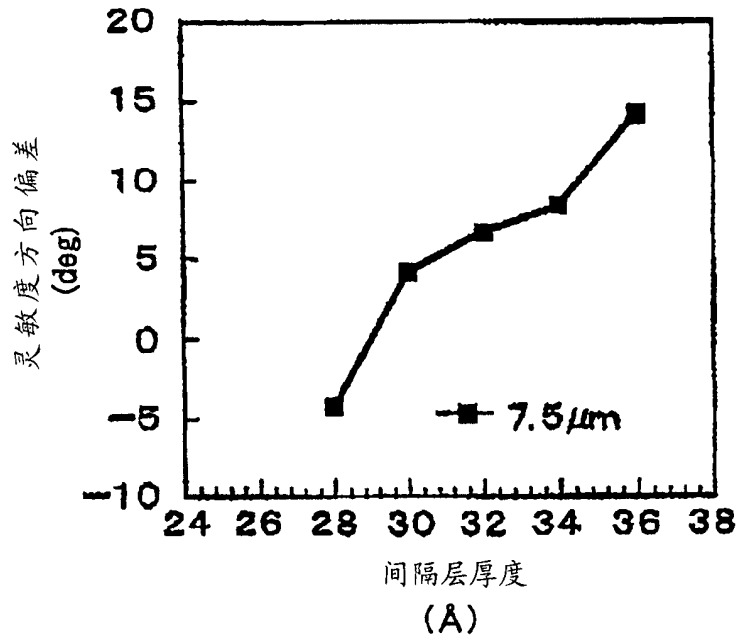


图 66

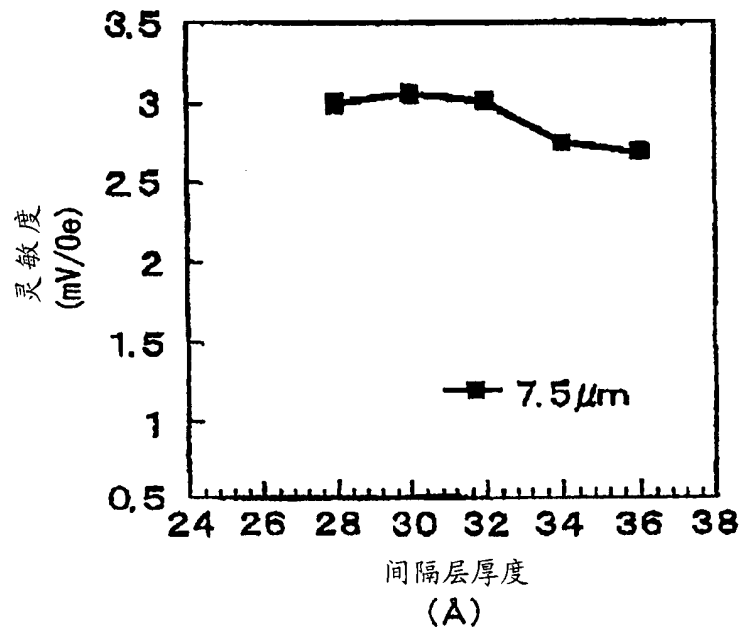


图 67

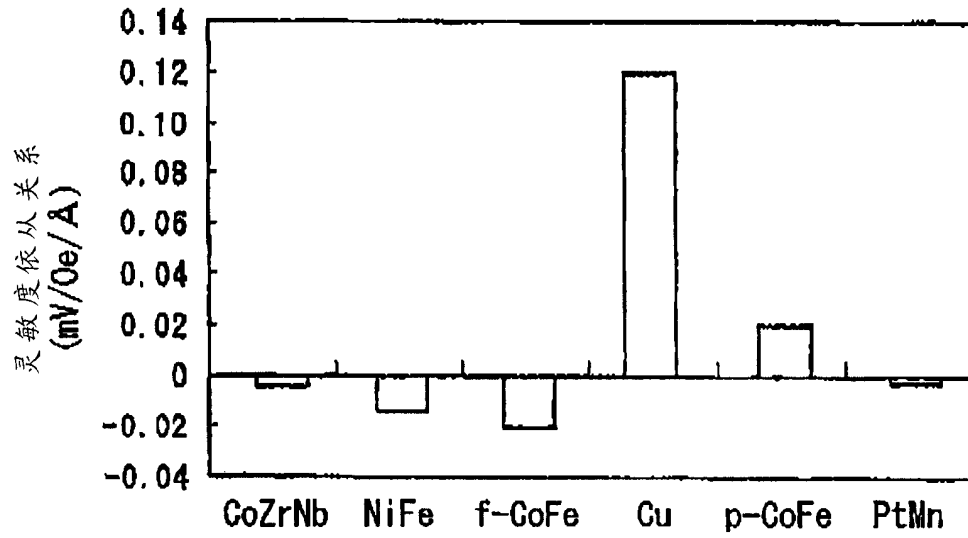


图 68

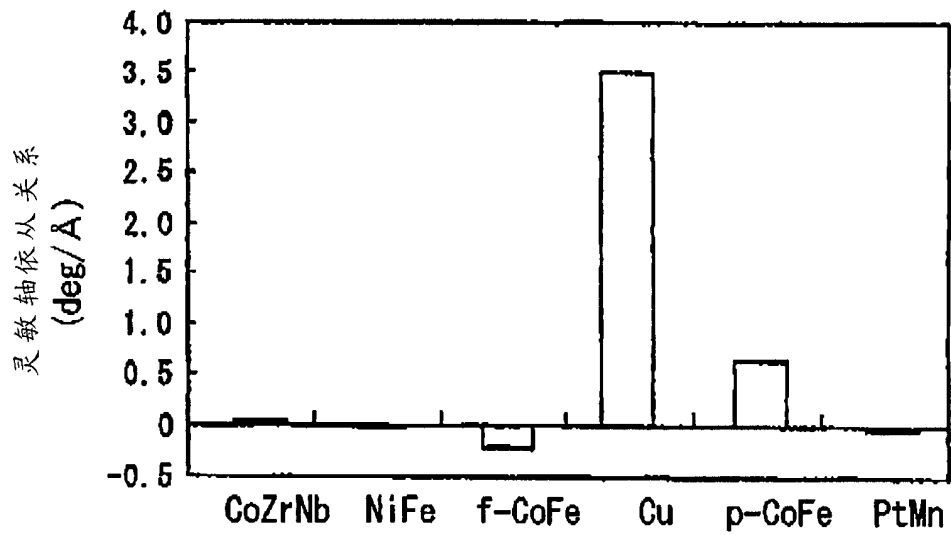


图 69

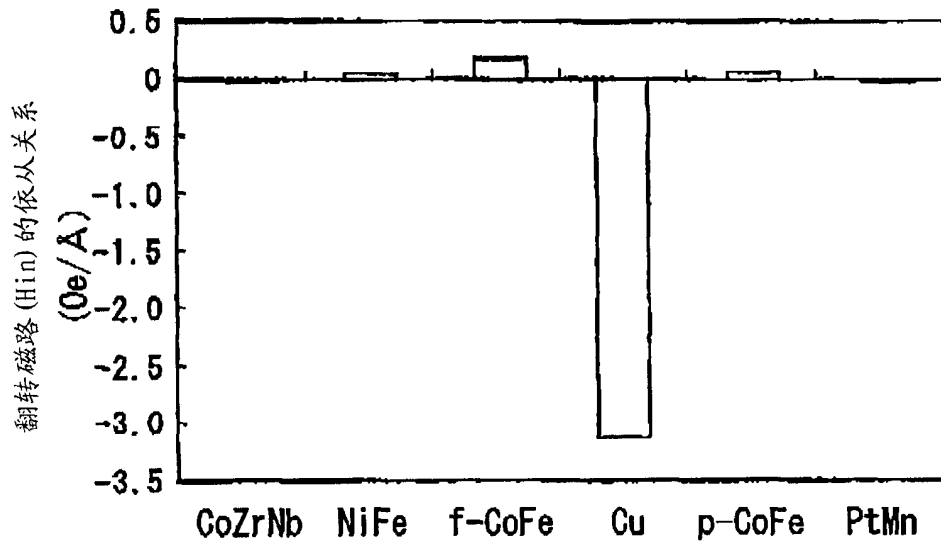


图 70

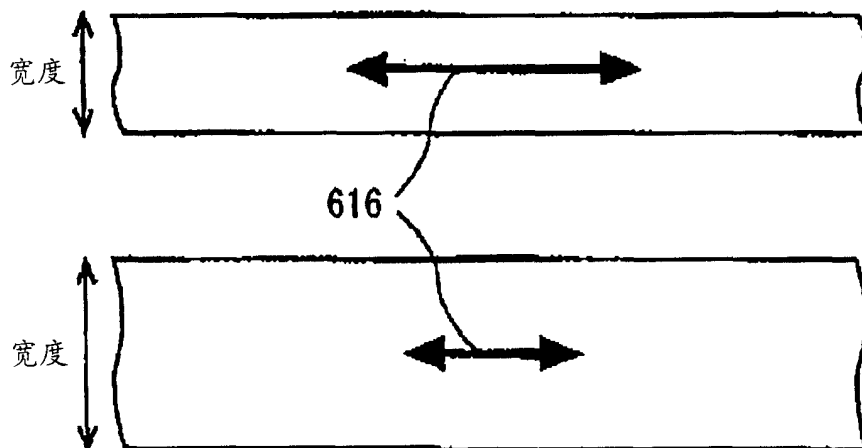


图 71

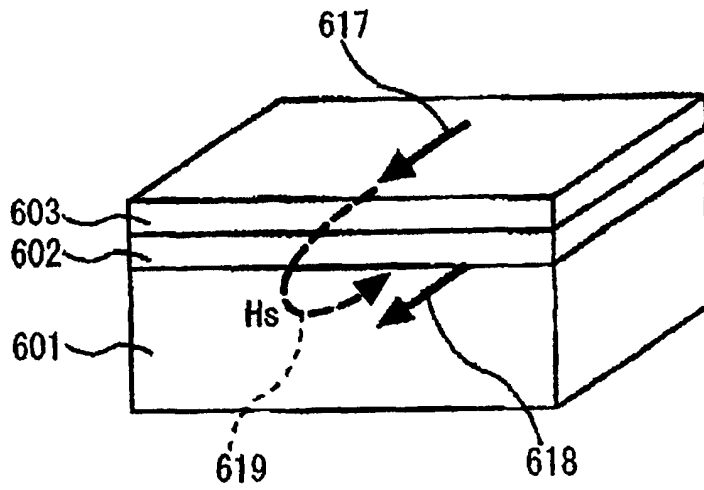


图 72

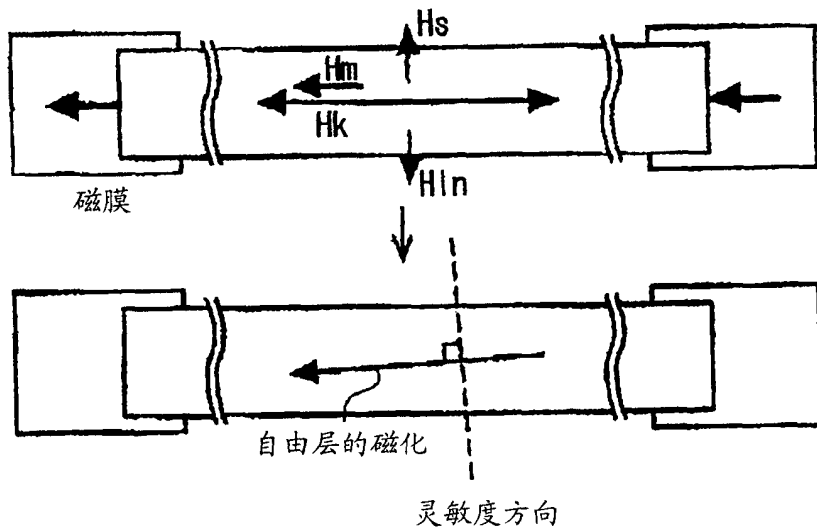


图 73

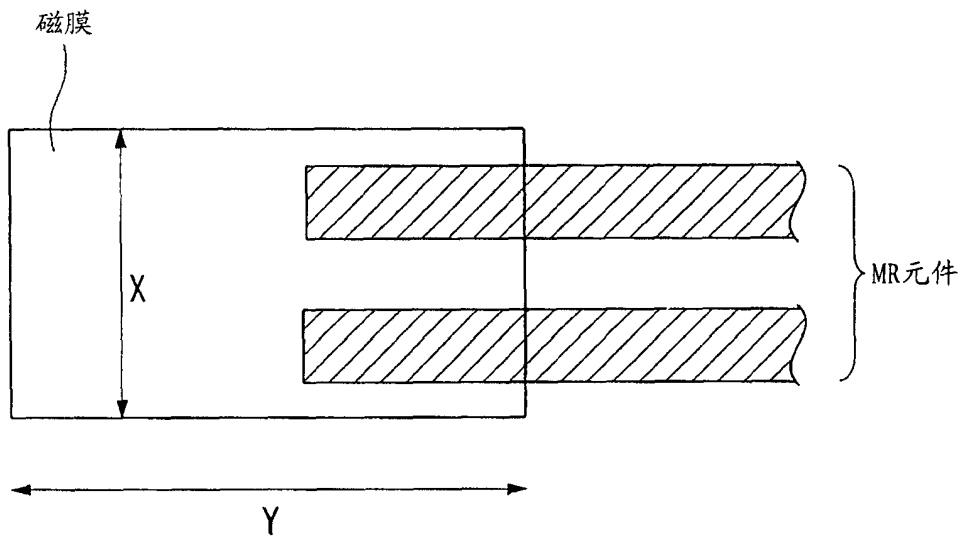


图 74

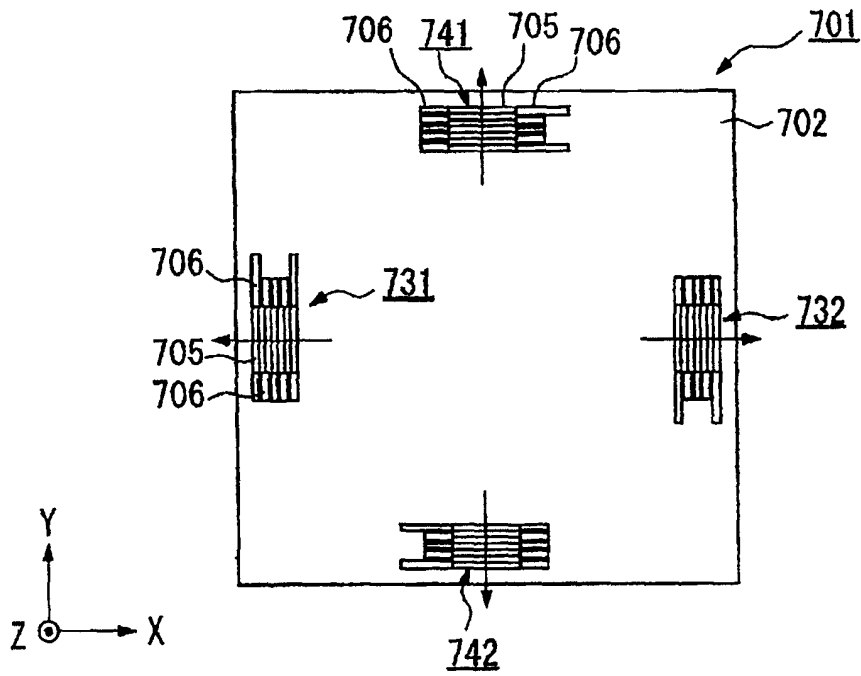


图 75

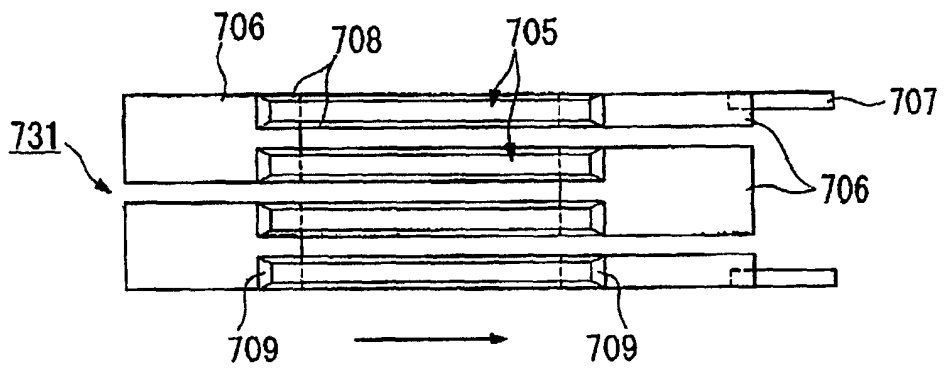


图 76

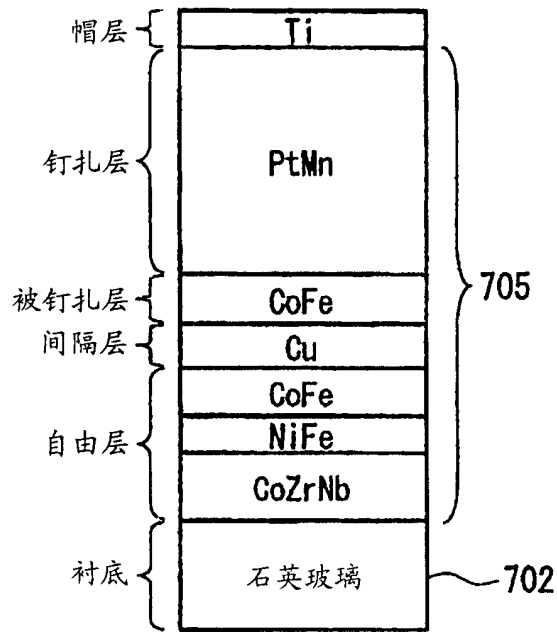


图 77

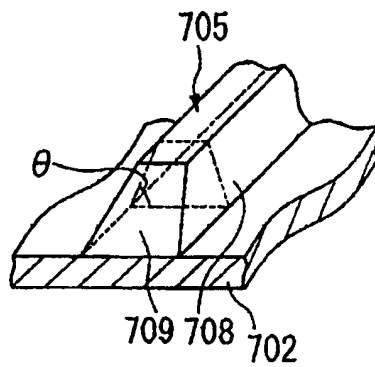


图 78

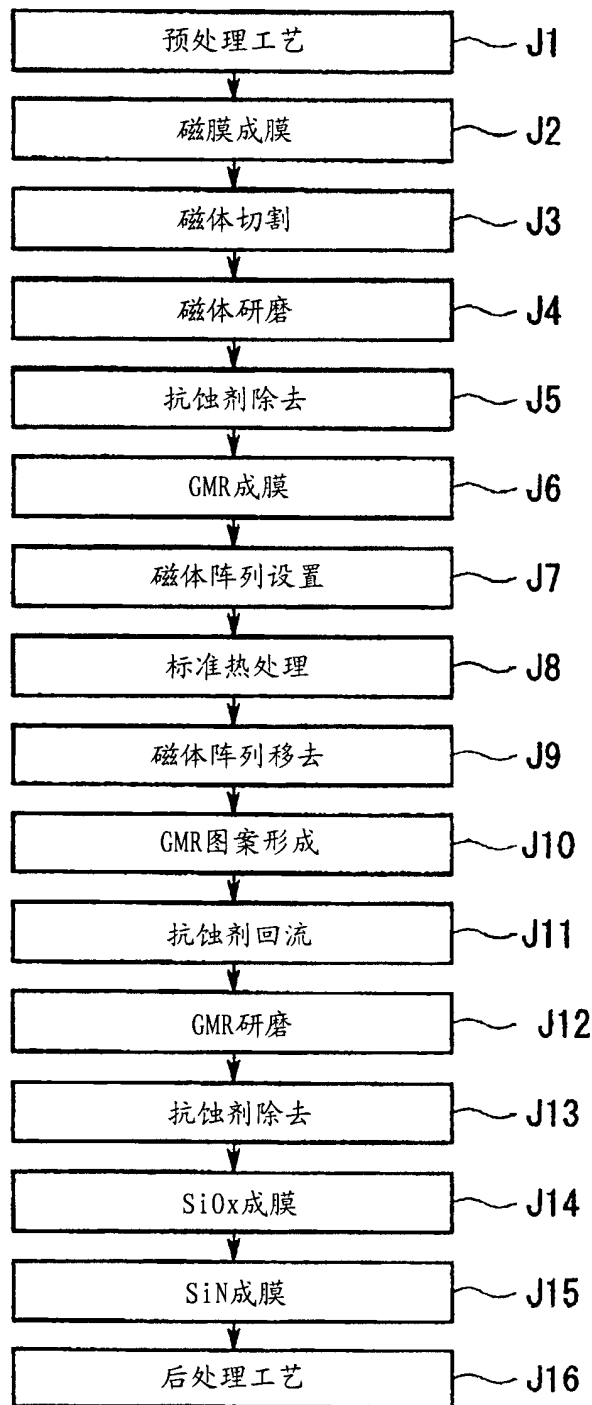


图 79

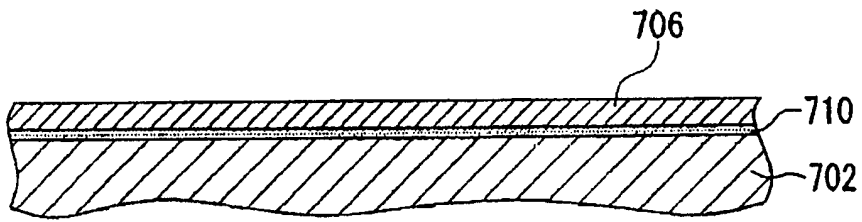


图 80

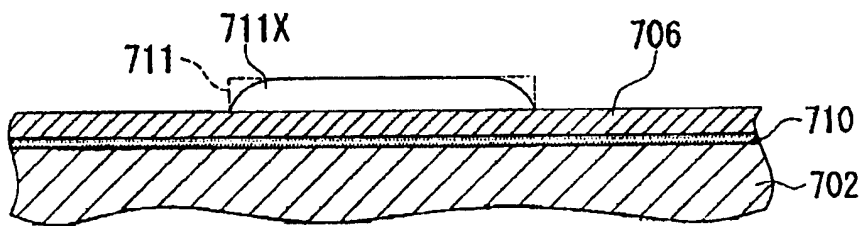


图 81

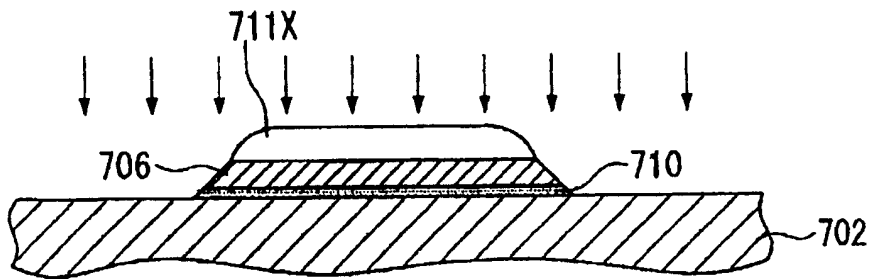


图 82

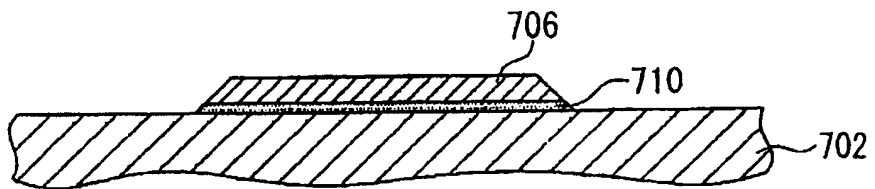


图 83

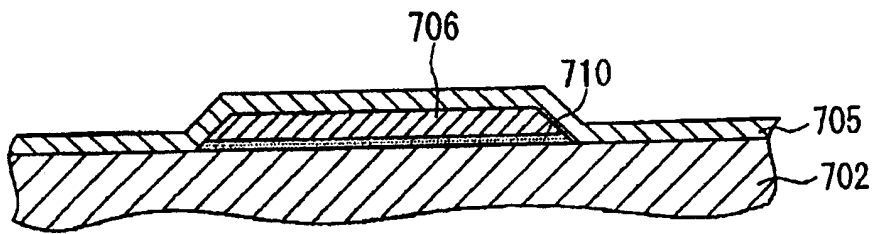


图 84

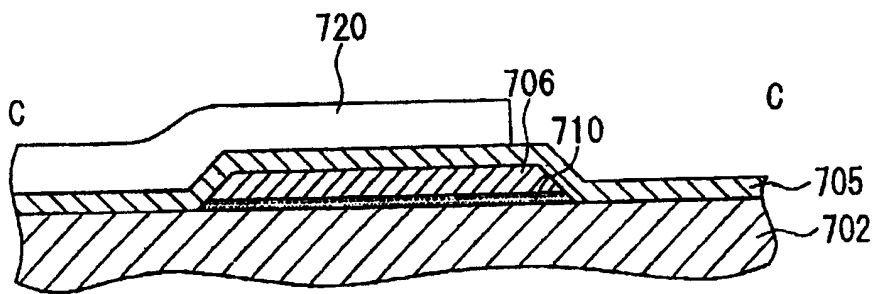


图 85

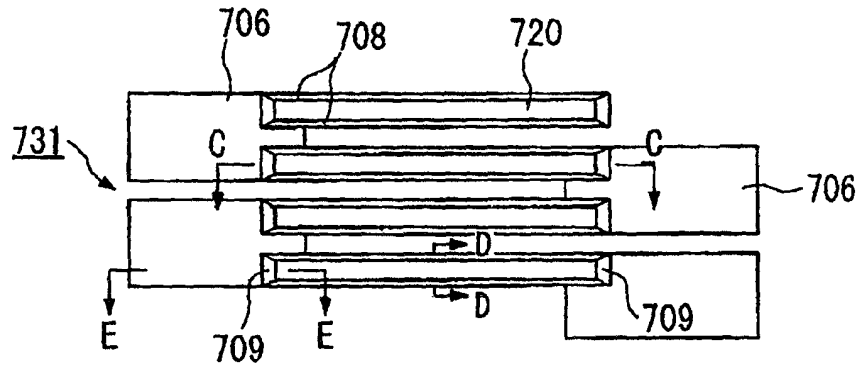


图 86A

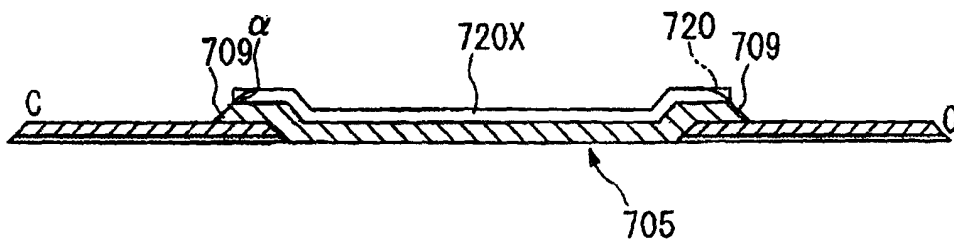


图 86B

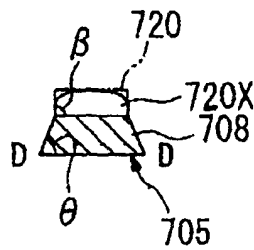


图 86C

图87A

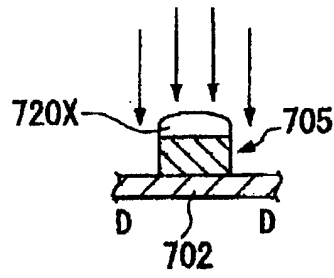


图87B

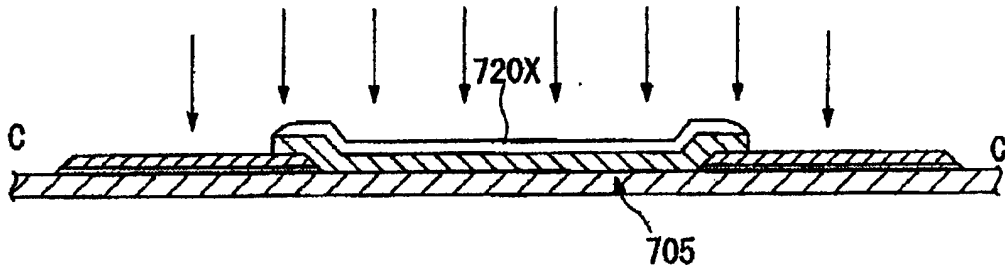


图88A

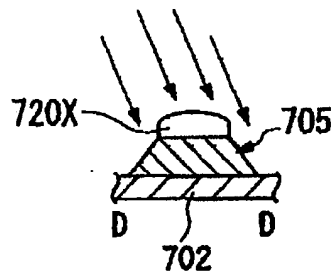
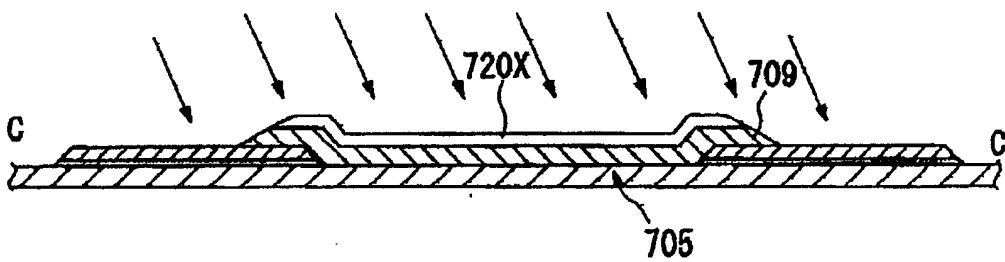


图88B



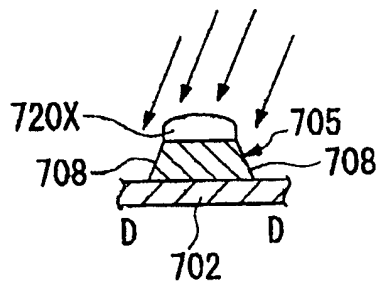


图 89A

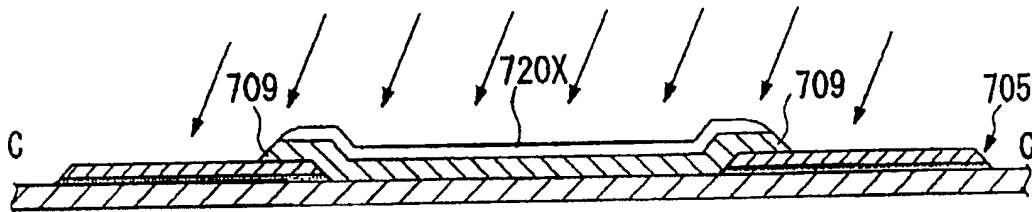


图 89B

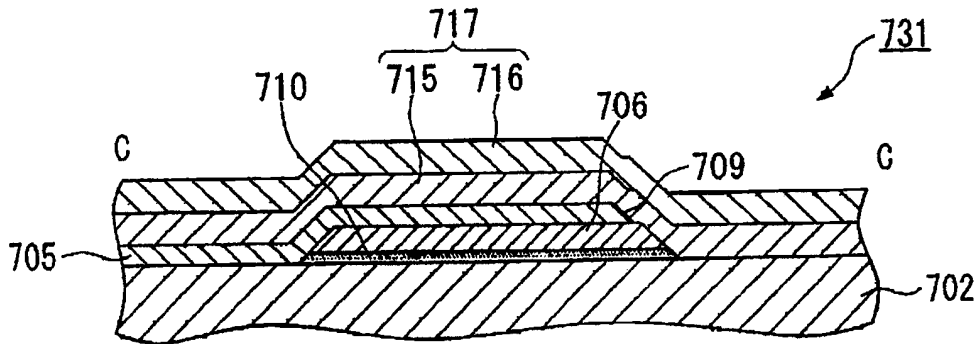


图 90

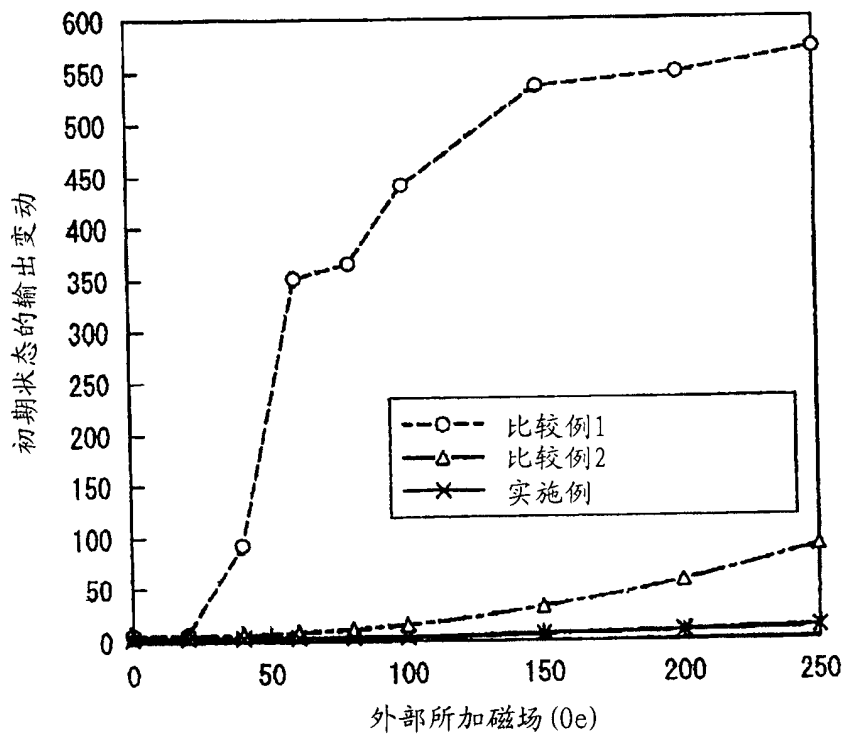


图 91

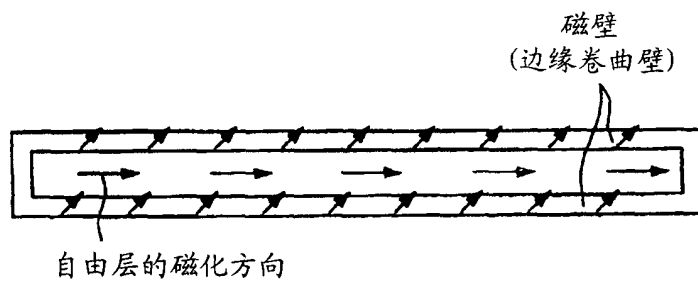


图 92

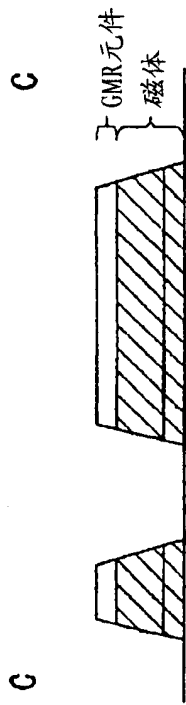
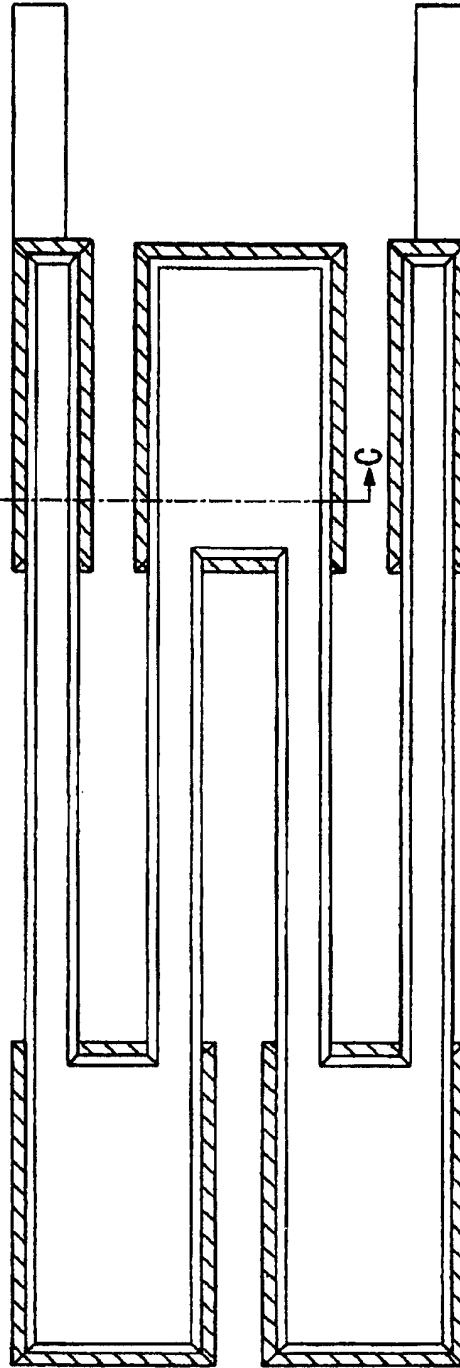


图 93B



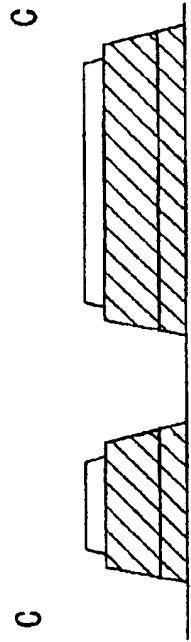


图 94A

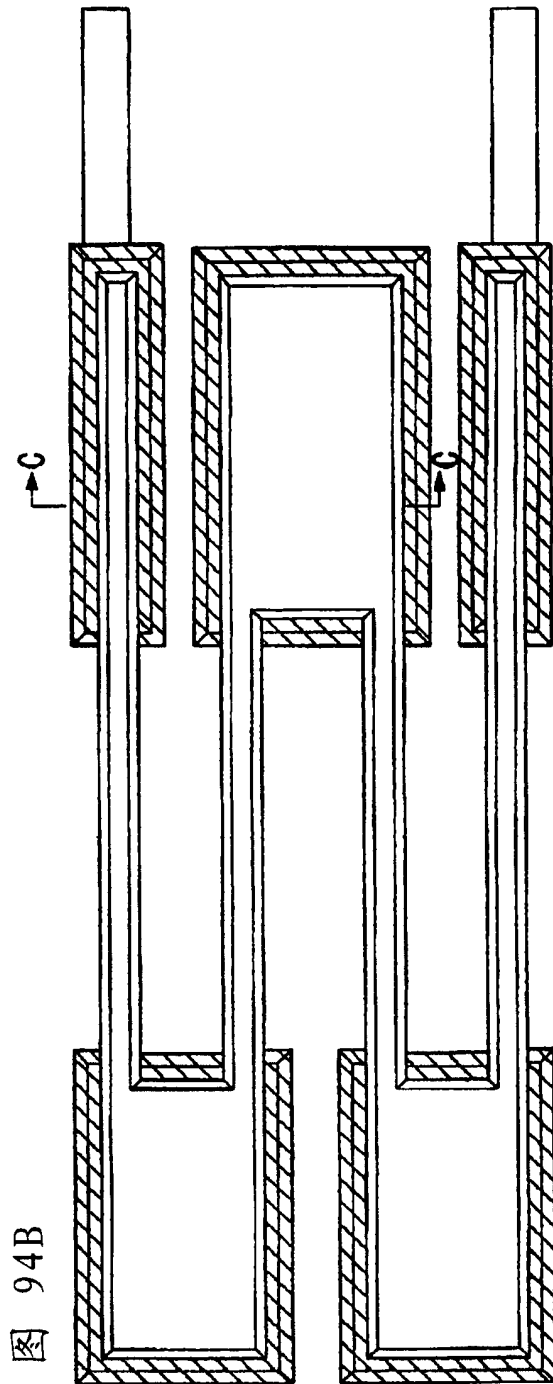


图 94B

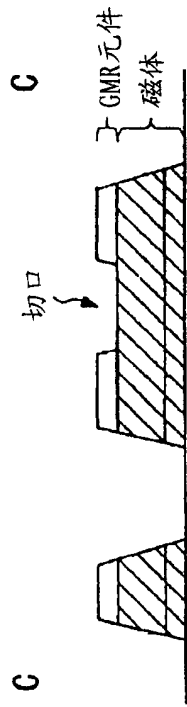


图 95A

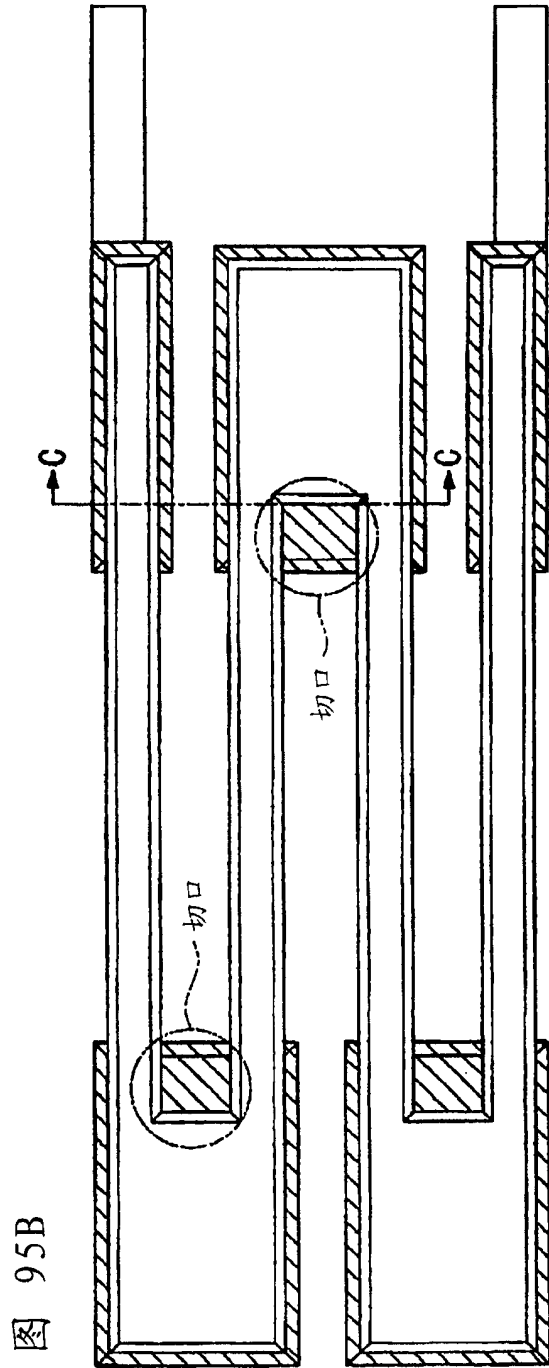


图 95B

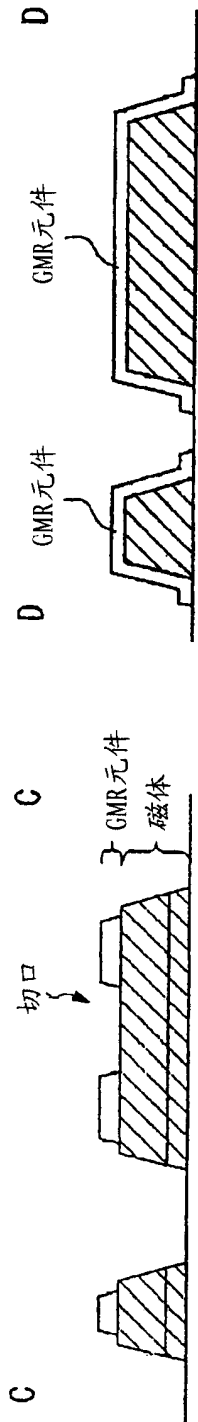


图 96B

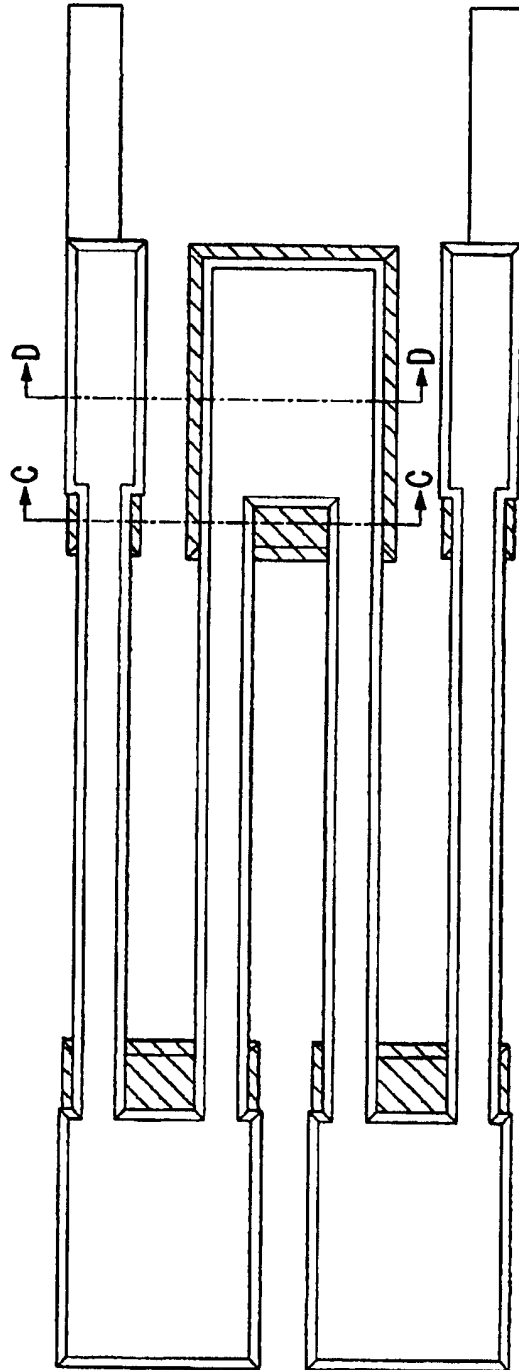


图 96C