

1. 一种用于磁记录介质的磁头，所述磁头包括：

绝缘层；

形成在所述绝缘层内的线圈；和

位于面向所述磁记录介质的前端部分的软磁性膜，

其中，

所述软磁性膜通过电解电镀形成在非磁性导电层上，所述非磁性导电层由 Ru、Rh、Pt、Pd、Au 或其合金形成，

所述软磁性膜由组成表示为 $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ 的 FeCo 形成，其中 $60 \text{ 重量}\% \leq x \leq 75 \text{ 重量}\%$ ，

所述 FeCo 膜具有 bcc 晶体结构，和

所述 FeCo 膜的晶体沿(110)晶面取向。

2. 如权利要求 1 所述的磁头，所述磁头还包括：

下部磁极；和

形成在所述下部磁极上的上部磁极；

其中，所述软磁性膜形成在所述上部磁极中而且靠近磁隙部分，

所述磁隙部分为所述非磁性导电层。

3. 如权利要求 1 所述的磁头，所述磁头还包括：

主磁极；

旁轭；和

形成在面向记录介质表面的所述旁轭前端的拖动式屏蔽件，

其中，所述非磁性导电层形成在面向记录介质表面的所述主磁极前端的两侧，并且

所述主磁极和所述拖动式屏蔽件中的至少一个是通过电解电镀在所述非磁性导电层上形成的软磁性薄膜。

软磁性薄膜和磁记录头

技术领域

本发明涉及一种软磁性薄膜和使用该软磁性薄膜的磁记录头。

背景技术

在用于硬盘的磁记录头中，上部磁极具有 $3\sim 4\mu\text{m}$ 的厚度和梯状部分，以便在前端产生足够的磁通量。所以，采用具有高的沉积效率和优异的成膜选择性的电镀法来形成上部磁极。

为了提高记录密度，要求记录头的磁极材料是具有高饱和磁通密度 (B_s) 的材料。

日本专利公开公报 No. 2002-280217 (文献 1) 公开了由 FeCo 合金形成的具有高 B_s 的电镀膜的生产方法及其特性。

在日本专利公开公报 No. 2004-127479A (文献 2) 中，使用由 Ru 形成的基底层，以提高 FeCoNi 合金的软磁性能。

此外，在日本专利公开公报 No. 2005-86012 (文献 3) 中，控制 bcc (211) 和 bcc (110) 的强度比，以提高 $B_s > 2.3\text{T}$ (T: 特斯拉) 的 FeCo 合金膜的软磁性能。

文献 1 中电镀膜的 B_s 大于传统电镀膜的 B_s ，但是磁致伸缩大。所以，很难提高软磁性能，而且矫顽力大。如果矫顽力大，则高频响应恶化。这样，矫顽力必须最小化。

在文献 2 中，FeCoNi 合金包括 Ni，因此电镀膜的 B_s 减小到小于 2.3T。所以，需要 B_s 大于或者等于 2.3T 的软磁性 FeCo 合金。

在文献 3 中， B_s 大于或者等于 2.3T，但是需要 NiFe 材料作为基底层。此外，由于控制晶体取向的余地较小，所以很难控制晶体取向。

发明内容

作出本发明以解决传统技术的问题。

本发明的一个目的是提供一种软磁性薄膜，其中可使用非磁性导电材料和磁性导电材料作为电镀的基层层，该基层层可以适应批量生产的变化以及具有高 B_s 和优异的软磁性能。

另一个目的是提供一种磁记录头，其中本发明的软磁性薄膜被用作具有优良记录特性的磁性材料。

为了实现所述目的，本发明具有以下结构。

即，本发明的软磁性薄膜通过电解电镀形成，其中该电镀膜由组成表示为 Fe_xCo_{1-x} ($60 \text{ 重量}\% \leq x \leq 75 \text{ 重量}\%$) 的 FeCo 形成，该 FeCo 膜具有 bcc 晶体结构，而且该 FeCo 膜的晶体沿(110)晶面取向。

在该软磁性薄膜中，该电镀膜形成在非磁性导电基层层上。

在另一个例子中，该电镀膜形成在磁性导电基层层上，而且该基层层由包括选自 Fe、Co 和 Ni 的至少两种元素的合金形成。

在该软磁性薄膜中，该基层层的薄膜电阻可以小于或者等于 $5.3 \Omega / \text{cm}^2$ 。

在该软磁性薄膜中，由 Ta、Ti、Cr 或者 Nb 形成的单个紧贴层可以形成在基层层下。

本发明的磁记录头包括：下部磁极；形成在该下部磁极上的上部磁极；形成在该下部磁极和该上部磁极之间的绝缘层；形成在后端的后部间隙部分，该后部间隙部分与该下部磁极和该上部磁极接触；形成在前端从而面向记录介质表面的磁隙部分；多次卷绕在后部间隙部分上的线圈；和通过电解电镀形成在该上部磁极中并靠近该磁隙部分的软磁性薄膜，其中该软磁性薄膜由组成表示为 Fe_xCo_{1-x} ($60 \text{ 重量}\% \leq x \leq 75 \text{ 重量}\%$) 的 FeCo 形成，

该 FeCo 膜具有 bcc 晶体结构，而且 FeCo 膜的晶体沿(110)晶面取向。

在该磁记录头中，该磁隙部分是非磁性导电层，而且该软磁性薄膜形成在该非磁性导电层上。

此外，一种用于垂直磁记录的单磁极磁头包括：主磁极；旁轭；形

成在该主磁极和该旁轭之间的绝缘层；形成在后端的后部间隙部分，该后部间隙部分与该主磁极和该旁轭接触；形成在主磁极前端两侧并面向记录介质表面的非磁性导电层；和形成在该旁轭前端并面向记录介质表面的拖动式屏蔽件 (trailing shield)，其中该主磁极和该拖动式屏蔽件中的至少一个是通过电解电镀形成在该非磁性导电层上的软磁性薄膜，该软磁性薄膜由组成表示为 $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($60 \text{ 重量}\% \leq x \leq 75 \text{ 重量}\%$) 的 FeCo 形成，该 FeCo 膜具有 bcc 晶体结构，而且该 FeCo 膜的晶体沿(110)晶面取向。

在本发明中，其饱和磁通密度(B_s)保持大于或者等于 2.3T 的 FeCo 电镀膜的矫顽力可以减小到小于 317 A/m。另一方面，可以是实现具有高磁导率例如 $\mu \approx 700$ 的软磁性薄膜。通过使用该软磁性薄膜作为磁极材料，可以较大地提高记录头的高频响应，从而可以提高记录特性。特别地，在将该软磁性薄膜用于水平记录头时，通过与非磁性基底膜结合，可以简化该记录头的制造工艺，等于溅射磁性材料的厚度的上部磁极的切割量可以减小，从而可以精确地形成磁芯。在将该软磁性薄膜用于垂直记录头的主磁极时，该主磁极可以通过用于批量生产的电镀法形成。通过电镀来形成拖动式屏蔽件，其原因仅在于形状和纵横比。然而，在本发明的垂直记录头中，可以简化制造工艺，而且可以降低产品的废品率。此外，通过使用具有高 B_s 和高磁导率 μ 的材料，可以提高用于垂直磁记录的单磁极磁头的记录分辨率。

附图说明

现在将通过实施例并参考附图来说明本发明的实施方式，其中：

图 1 是本发明实施方式的水平记录头的横截面示意图；

图 2 是另一个实施方式的水平记录头的横截面示意图；

图 3 是另一实施方式的单磁极垂直磁记录头的横截面示意图；

图 4 是 FeCo 电镀膜的矫顽力和组成的相关性曲线图；

图 5 是 FeCo 电镀膜的矫顽力和厚度的相关性曲线图；

图 6 是 FeCo 电镀膜的饱和磁通密度和组成的相关性曲线图；

图 7 是 FeCo 电镀膜的高频磁导率的曲线图；

图 8 是 FeCo 电镀膜的 X 射线衍射峰；

图 9 是其中晶体不沿 bcc (110) 取向的 FeCo 脉冲电镀膜的 B-H 曲线图；

图 10 是其中晶体沿 bcc (110) 取向的 FeCo 脉冲电镀膜的 B-H 曲线图；

图 11 是显示镀覆厚度和薄膜电阻之间关系的曲线图。

具体实施方式

现在将参考附图详细描述本发明的优选实施方式。

本发明的软磁性薄膜可以应用于图 1~3 所示的磁记录头。图 1 和 2 中所示的记录头是平面型磁头，但是该软磁性薄膜可以应用于复合型 (stitched) 磁头。在图 1 和 2 两者中，软磁性薄膜设置于上部磁极内；在图 3 中，软磁性薄膜设置于主磁极或者拖动式屏蔽件内。

图 1 是薄膜磁头 10 的局部横截面图。

磁头 10 包括磁记录头 12 和再生磁头 14。因为磁头 10 具有已知的结构，所以将对其进行简要地解释。

该再生磁头 14 包括：由 FeNi 形成的下屏蔽层 15 和上屏蔽层 16；由例如氧化铝形成的绝缘层 17；和设置于绝缘层 17 内已知的 MR (磁阻) 元件 18。

该上屏蔽层 16 用作记录磁头 12 的下部磁极。

由例如氧化铝形成的绝缘层 20 形成在下部磁极 16 上，线圈 22 形成在该绝缘层 20 内，双层的上部磁极 24 形成在该绝缘层 20 上。该上部磁极 24 由 FeCo 电镀层 25 和在该电镀层 25 上形成的 FeNi 电镀层 26 构成。该层 25 和 26 与本发明有关。

与下部磁极 16 和上部磁极 24 接触的后部间隙部分 27 形成在磁记录头 12 的后端。线圈 22 多次卷绕在后部间隙部分 27 上。面向记录介质(未示出)表面的磁隙(写入间隙)部分 30 形成在磁记录头 12 的前端。由 B_s 比下部磁极 16 的 B_s 更高的材料例如 FeCo 形成的高 B_s 层 31 通过溅射形成

在下部磁极 16 的前端层 16a 和磁隙部分 30 之间。

在本实施方式中，上部磁极 24 的电镀 FeCo 层 25 的组成表示为 $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($60 \text{ 重量}\% \leq x \leq 75 \text{ 重量}\%$)。此外，通过电解电镀形成的 FeCo 层 25 是具有 bcc 晶体结构的软磁性薄膜，而且 FeCo 层 25 的晶体沿(110)晶面取向。

磁隙部分 30 是由例如 Ru 形成的非磁性导电层，而且上部磁极 24 的 FeCo 层（软磁性薄膜）25 形成在磁隙部分 30 上。即，磁隙部分 30 是 FeCo 层 25 的基层层。

当通过电解电镀形成上部磁极 24 时，磁隙部分 30 的非磁性导电层用作供电层。FeCo 电镀层 25 的晶体取向可以通过选择非磁性导电层的材料来控制。

图 2 是另一个薄膜磁头 10 的局部横截面图。图 1 所示的结构元件采用相同的附图标记，而且将省略说明。

在图 2 中，由绝缘材料例如 Al_2O_3 、 SiO_2 形成的磁隙部分 32 形成在高 Bs 层 32 上。该上部磁极 24 包括：由磁性导电材料形成的电镀基层层 28；通过由电解电镀进行电镀的 FeCo 层 25，其中基层层 28 作为供电层；和 FeNi 电镀层 26。

同样在本实施方式中，电镀的 FeCo 层 25 的组成表示为 $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($60 \text{ 重量}\% \leq x \leq 75 \text{ 重量}\%$)。此外，通过电解电镀形成的 FeCo 层 25 是具有 bcc 晶体结构的软磁性薄膜，而且 FeCo 层 25 的晶体沿(110)晶面取向。

注意，附图标记 16b 表示磁性分隔层。

图 3 是具有用于垂直磁记录的单磁极磁头 33 的薄膜磁头 10 的局部横截面图。图 1 和 2 所示的结构元件采用相同的附图标记，而且将省略说明。

在图 3 中，非磁性导电层 35 形成在绝缘层 34 上，主磁极 36 是 FeCo 电镀层，其通过电镀形成在非磁性导电层 35 上。注意，当形成主磁极 36 时，非磁性导电层 35 用作供电层。非磁性导电层 37 形成在主磁极 36 上。拖动式屏蔽件 40 是 FeCo 电镀层，该拖动式屏蔽件 40 形成在旁轭 38 的前端，并面向记录介质(未显示)的表面。当形成拖动式屏蔽件 40 时，非

磁性导电层 37 用作电镀基底层。注意，拖动式屏蔽件 40 应该形成在具有大磁场梯度和高密度记录数据的磁头内。根据记录密度，可以省略拖动式屏蔽件 40。图 3 示出具有拖动式屏蔽件的单磁极磁头，但是本发明的软磁性薄膜可以应用于没有拖动式屏蔽件的单磁极磁头。

在本实施方式中，主磁极 36 和拖动式屏蔽件 40 中至少一个的电镀 FeCo 层的组成表示为 $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($60 \text{ 重量}\% \leq x \leq 75 \text{ 重量}\%$)。此外，通过电解电镀形成的 FeCo 层是具有 bcc 晶体结构的软磁性薄膜，而且 FeCo 层 25 的晶体沿 (110) 晶面取向。

图 4 和 5 示出软磁性薄膜的磁性能，这些软磁性薄膜通过电解电镀形成，具有 bcc 晶体结构，而且其晶体沿 (110) 晶面取向。图 4 示出矫顽力(Hc)随 FeCo 电镀膜组成的变化；图 5 示出 Hc 随 FeCo 电镀膜厚度的变化。根据图 4，晶体沿 (110) 晶面取向的 FeCo 电镀膜在宽的组成范围内具有小的矫顽力。

图 6 是 FeCo 电镀膜的饱和磁通密度(Bs)与组成的相关性曲线图；根据图 6，在 $60 \text{ 重量}\% \leq \text{Fe} \leq 75 \text{ 重量}\%$ 的组成范围获得具有高 Bs 例如 $B_s \geq 2.3\text{T}$ 的 FeCo 电镀膜。所以，通过控制晶体取向而使矫顽力 Hc 更小的组成范围完全包括所需要的范围。

根据图 5，通过在膜厚度方向进行晶体取向控制，从开始到完成薄膜形成，保持小的矫顽力 Hc。所以，可以减小矫顽力而保持高 Bs，从而可以提高软磁性能，而且可以生产具有优良高频响应的磁头。

根据图 7，晶体沿 (110) 晶面取向而且矫顽力 Hc 小的 FeCo 电镀膜具有高磁导率，例如 $\mu \approx 700$ 。所以，可以由单个 FeCo 层形成上部磁极，而且该 FeCo 电镀膜可以应用于垂直磁记录的单磁极磁头的拖动式屏蔽件。

通过选择籽晶层(电镀基底层 28、30、35 和 37)的材料可以控制 FeCo 膜的晶体取向。适当的电镀基底层由非磁性导电材料或者磁性导电材料形成，该非磁性导电材料是贵金属例如 Ru、Rh、Pt 或者包括这类贵金属的合金，该磁性导电材料是包括选自 Fe、Co 和 Ni 的至少两种元素的合金。

图 8 是具有不同基底的 FeCo 电镀膜的 X 射线衍射峰。基底由 NiP、FeCo、NiFe 和 Ru 形成。其它的导电材料具有相同趋向。根据图 8, bcc (110) 的 XRD 衍射峰随着基底的材料不同而明显不同。因为纵轴的范围较大, 所以没有显示其它弱的衍射峰。bcc (110) 衍射峰高的膜几乎完全沿 bcc (110) 取向。然而, 衍射峰低的某些膜没有随机地取向。

图 9 和 10 是 FeCo 膜的 B-H 曲线图。在图 9 中, FeCo 膜具有由 NiP 形成的基底; 在图 10 中, FeCo 膜具有由 Ru 形成的基底。在基底和晶体取向不同的 FeCo 膜中, B-H 曲线不同。在具有 NiP 基底的 FeCo 膜中, 没有控制晶体取向, 结果该 B-H 曲线是各向同性的而且矫顽力 H_c 不够小。另一方面, 在具有 Ru 基底的 FeCo 膜中, 晶体沿 bcc (110) 取向, 所以可以减小在易磁化轴和难磁化轴的 B-H 曲线的矫顽力 H_c 。

当非磁性导电膜用作基底且晶体沿 bcc (110) 取向的 FeCo 电镀膜应用于水平磁记录头时, 非磁性导电基底(籽晶层)用作磁记录间隙层, 从而磁头具有以下优点。即, 可以简化制造工艺、可以减小上部磁极的修整量、可以防止磁性层的粘附、可以精确控制磁芯宽度等等。

在晶体沿 bcc (110) 取向的 FeCo 电镀膜应用于垂直磁记录的单极磁头的主磁极时, 当除去基底时, 没有基底(籽晶层)的材料粘附在主磁极上。所以, 主磁极可以维持想要的形状。在其晶体沿 bcc (110) 取向的 FeCo 电镀膜应用于垂直磁记录的单极磁头的拖动式屏蔽件时, 当除去基底时, 没有基底的材料粘附在拖动式屏蔽件上。所以, 该拖动式屏蔽件可以维持想要的形状, 并且可以防止电气短路。此外, 该 FeCo 电镀膜不仅可以作为拖动式屏蔽件而且可以作为线圈的基底(参见图 3)。

拖动式屏蔽件的材料应该具有高磁导率 μ 和高饱和磁通密度 B_s 。通过将晶体沿 bcc (110) 取向, 可以提高软磁性能, 所以可以使磁导率更高。所以, 可以生产希望的拖动式屏蔽件, 而且可以提高用于垂直磁记录的单极磁头的记录分辨率。注意, 在使用由磁性材料形成的基底以及常规磁头时, 通过控制晶体取向可以软磁化电镀膜。但是该电镀膜可以通过常规方法来制造。所以, 可以提高磁头特性, 而不改变传统的制造工

艺。

实施例

接着，将解释制造 FeCo 合金薄膜的方法。

基板由例如 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ 形成。由非磁性导电材料形成的电镀基底层通过溅射或者蒸发形成在基板上。为了紧紧地粘附在基板上，厚度为 5~10 nm 的 Ti 膜形成在基板上。可以使用 Ta、Cr、Nb 等等来代替 Ti。根据影响电镀膜分布的薄膜电阻来确定基底层的厚度。薄膜电阻与金属的比电阻有关。为了减小薄膜电阻，由具有大电阻的金属形成的电镀膜的厚度必须更厚。图 11 示出镀覆厚度和薄膜电阻之间关系的曲线图。膜厚度随着制造工艺的变化而变化。例如，如果电镀膜用于垂直磁记录的单极磁头的主磁极，该变化应限制在 $\pm 5\%$ 范围内。这样，薄膜电阻应该小于或者等于 $1.6 \Omega/\text{sq}$ 。在该电镀膜用于感应磁头时，希望的变化是 $\pm 5\%$ 。如果可以忽略小的变化，就可以提高薄膜电阻。例如，如果使用 Ru，则厚度大于或者等于 50 nm 的电镀膜可以应用于感应磁头以及用于垂直磁记录的单极磁头的主磁极和拖动式屏蔽件。

表 1 示出电镀液的组成，表 2 示出用于形成膜的条件。

表 1

试剂	浓度 (g/l)
氟硼酸	8~40
导电剂	4~60
硫酸亚铁	5~25
硫酸钴	3~25
应力消除剂	0.2~3
表面活性剂	0~1

表 2

形成膜的条件	
溶液温度	20~35
pH	2.0~3.0
平均电流密度	3~25
负荷比	5~75
频率	0.1~50

为了供应 Co 离子和铁离子，电镀液包括 Co 和 Fe 的硫酸盐、氟硼酸、导电剂和应力消除剂。该应力消除剂是结构中包含[=C-SO₂-]和[-C-N-]的有机物，例如糖精钠。此外，可以在 FeCo 电镀液中添加结构中包含[=C-SO₂-]而不包括[-N-]的其它物质，例如 1,3,6-萘三磺酸三钠、1,5-萘二磺酸二钠。但是，结构中包含[=C-SO₂-]和[-C-N-]的有机物的应力消除效果更大，所以该有机物合适作为添加剂。随着应力消除剂自身的化学吸附能力及在电镀液中的离子的辅助作用的不同，应力消除剂在膜中的量也不同。例如，如果含氮的离子（例如铵离子）存在于溶液中，氮的化学吸附能力促进应力消除剂与膜的结合。特别地，该结合被抗蚀图活化。如果该结合被过分地促进，则饱和磁通密度 B_s 下降，所以膜的特性必定更坏。当结构中包含[=C-SO₂-]和[-C-N-]的有机物用作应力消除剂时，应该选择合适的导电剂。合适的导电剂是阳离子为碱金属的氯化物、硫酸盐或者氨基磺酸盐。例如，可以使用氯化钠、氯化钾、氯化锂、硫酸钠等等。在本实施方式中使用氯化钠。该 FeCo 软磁性薄膜通过电解电镀形成在 Al₂O₃-TiC 基板上。在大约 8000e 的直流磁场中进行电镀。

下面将说明形成膜的条件。为了提高电流效率和抑制 Fe 离子的氧化，该溶液的适当 pH 值是 2.0~3.0。在本实施方式中，pH 值是 2.3。用硫酸调整 pH 值，但是也可以用盐酸来调整。为了提高 pH 值，可以使用氨。另一方面，如果氢氧化钠添加到该溶液中，则氢氧化物立即沉积在该溶液中，因此氢氧化钠不是合适的添加剂。

脉冲电流用于电镀。平均电流密度是 3~50 mA/cm²、负载周期是 5

%~50%和频率是0.1~50 Hz。可以用直流形成该膜，但是该膜的表面糙度必定会大。用脉冲电流电镀的FeCo膜的表面糙度小于用直流电镀的膜的表面糙度。在用脉冲电流电镀的FeCo膜中，Ra是 ≤ 5 nm，这几乎等于NiFe电镀膜的平坦度。溶液的温度是15~30°C。如果温度太高，将加速铁的氧化，必定缩短溶液寿命。适合的温度是低于或者等于30°C。在本实施方式中，用N₂进行鼓泡，以便抑制溶液的氧化。此外，电镀槽的盖板应该封闭，而不要频繁地打开。

在不考虑基底层的情况下，组成表示为Fe_xCo_{1-x} (60重量% $\leq x \leq 75$ 重量%)的FeCo电镀膜中，Bs大于或者等于2.3T。通过使晶体沿bcc(110)取向，从开始形成膜直到达到1 nm的厚度，都保持小的矫顽力(参见图4和5)。如图7所示，减小难磁化轴的矫顽力，所以提高磁导率。可以通过选择基底层的材料来进行晶体取向控制。特别地，通过选择Ru、Rh、NiFe和FeCo获得显著的效果。基底层的材料不局限于上述材料。可以使用例如像Pd、Pt、Au、Mo、W等贵金属作为基底层的材料。然而，材料Ru、Rh、FeCo和FeNi从开始到完成膜都可以轻易地控制其晶体沿bcc(110)取向，而且可以较大提高软磁性能。它们是FeCo膜基底层的合适材料。注意，当FeCo用作基底层时，FeCo基底层和FeCo电镀层的矫顽力将复合，因此FeCo基底层的矫顽力应该小。上述技术对于具有bcc结构的电镀膜是有效的，所以该Bs可以应用于例如FeCo+ α ($\alpha = \text{Ni, Pd, Ru, Rh, Pt, Zr}$)，从而提高耐腐蚀性。添加少量的 α ，而且 α 的浓度根据所需的Bs来确定。在本发明中，少量的 α 可以包括在该FeCo电镀膜内。

本发明可以体现为其它的特定形式，而不离开其本质特征的精神。所以本发明的实施方式无论如何都应该看作说明性的，而非限制性的，本发明的范围由附加的权利要求来表示，而不是由上述描述来表示，因此，涵盖在该权利要求等同的含义和范围内的所有变化都将包含在该权利要求中。

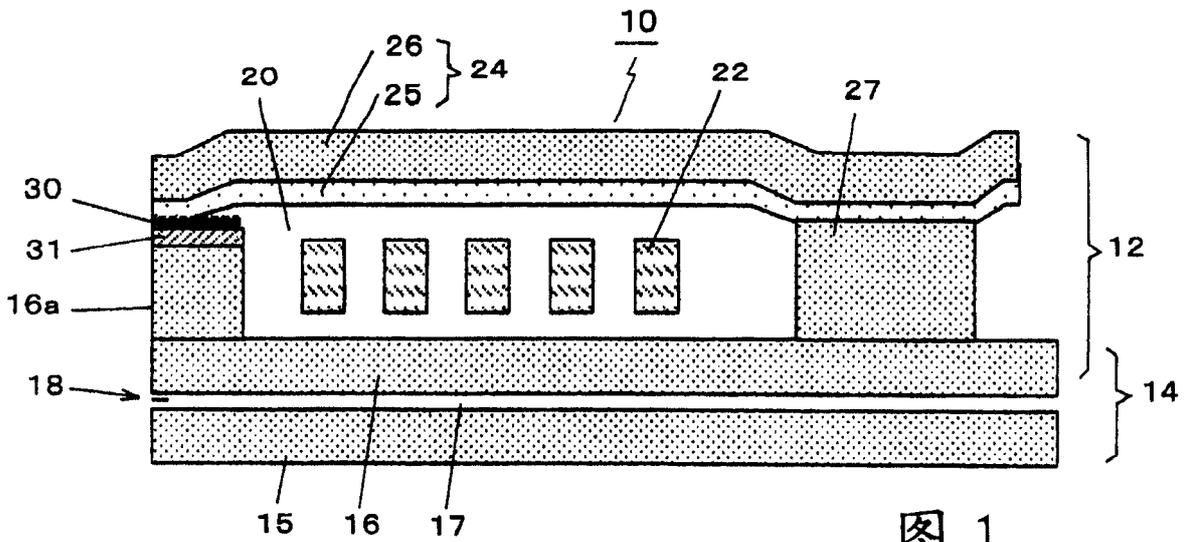


图 1

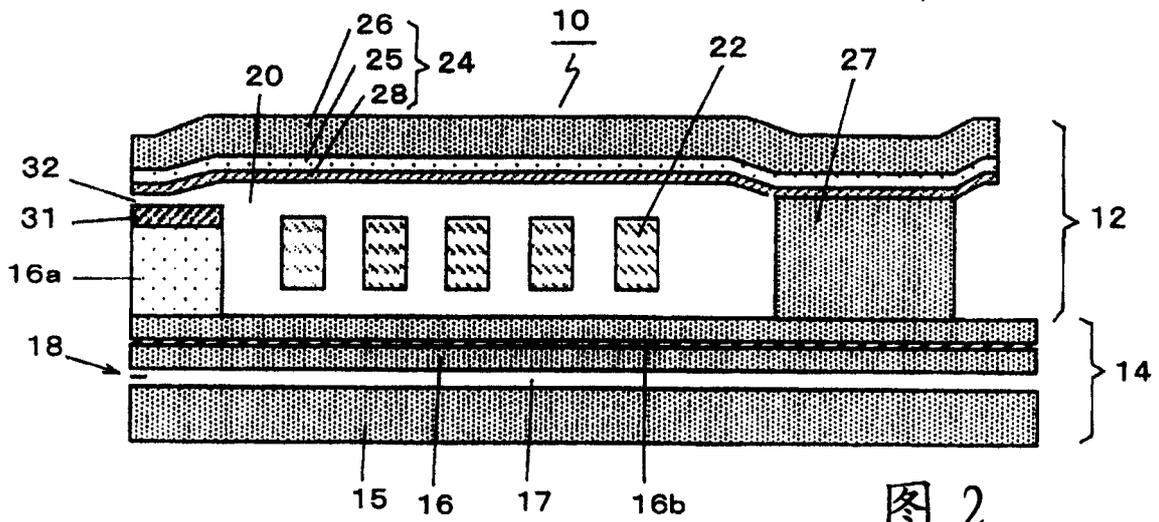


图 2

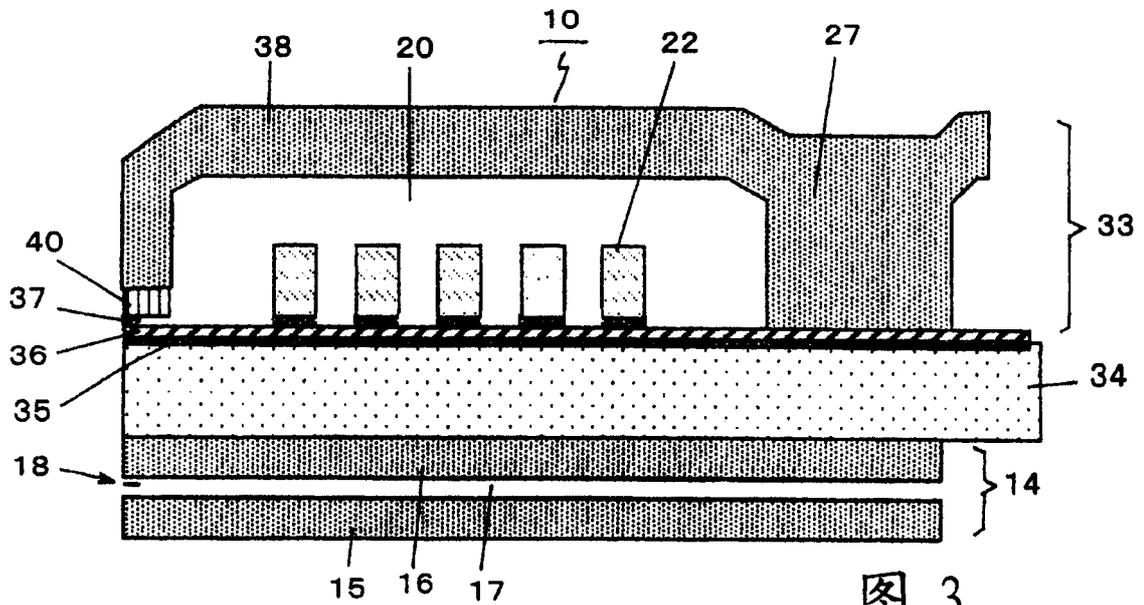


图 3

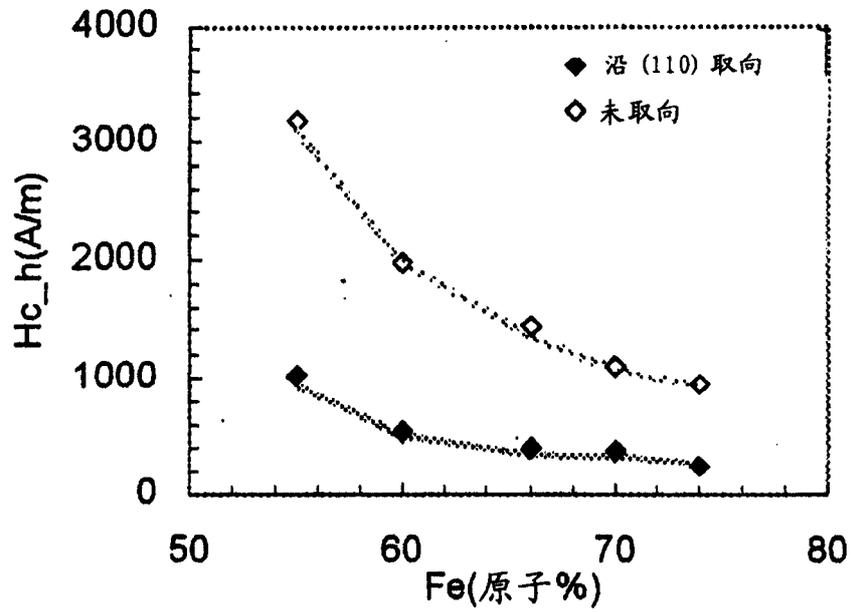


图 4

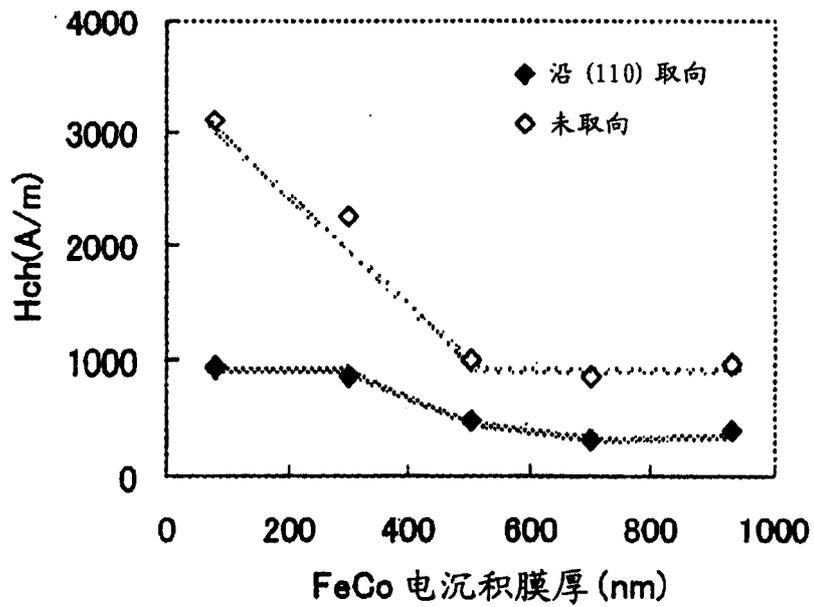


图 5

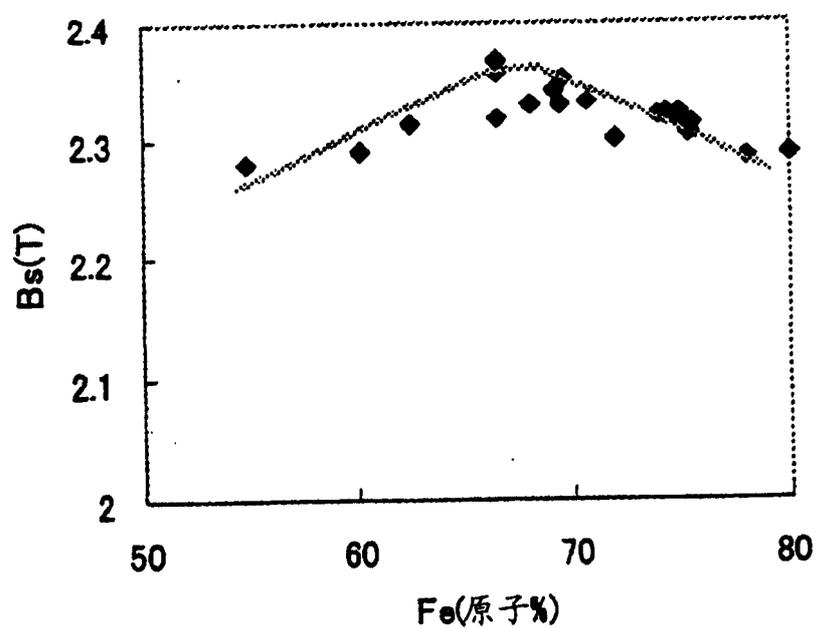


图 6

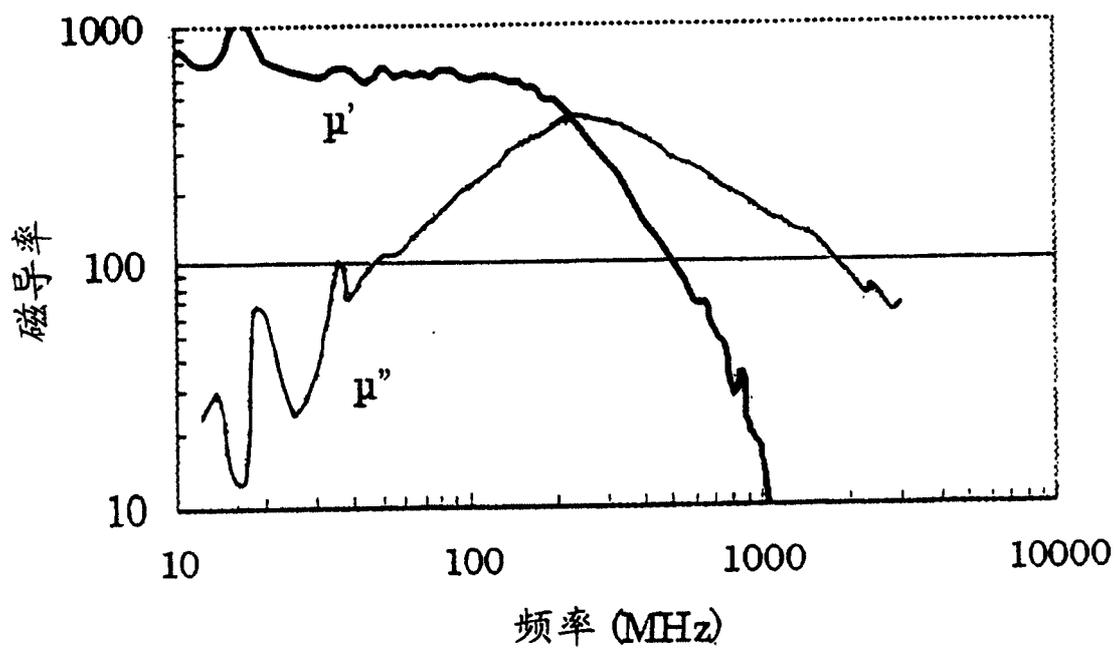
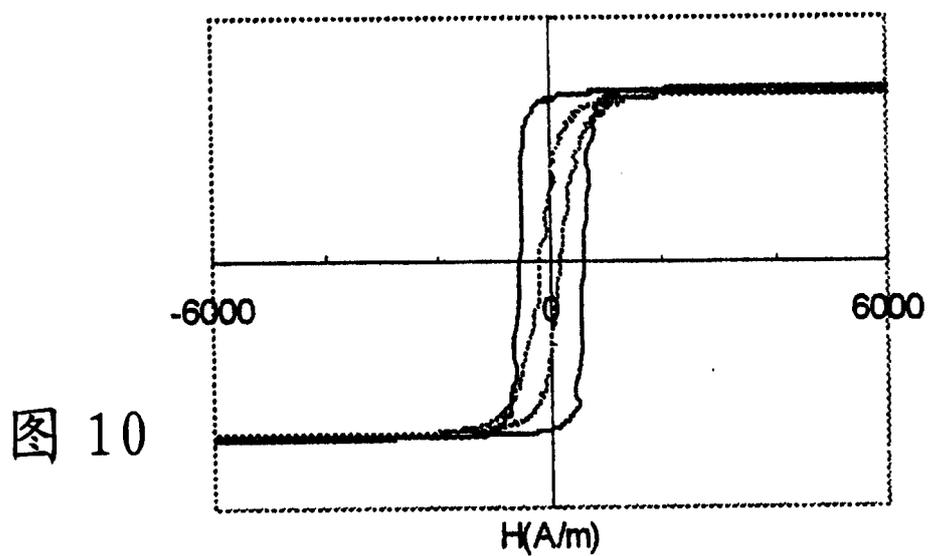
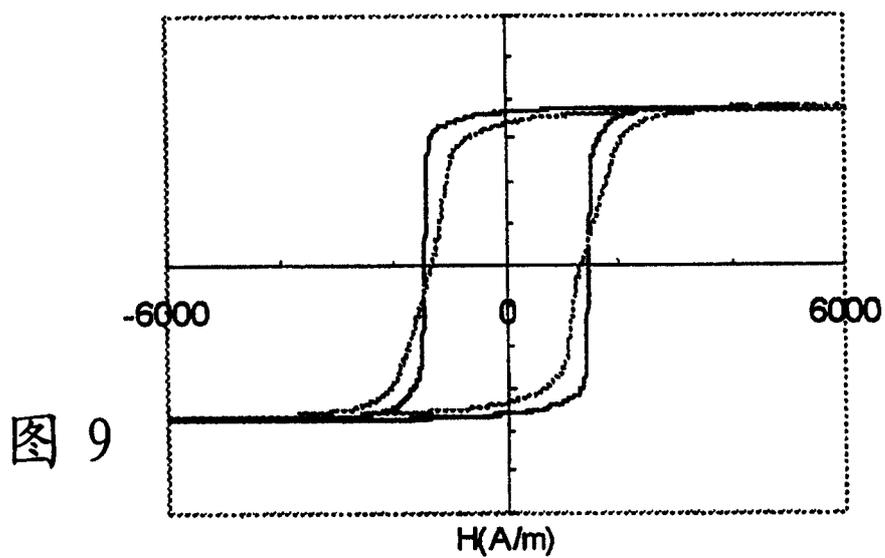
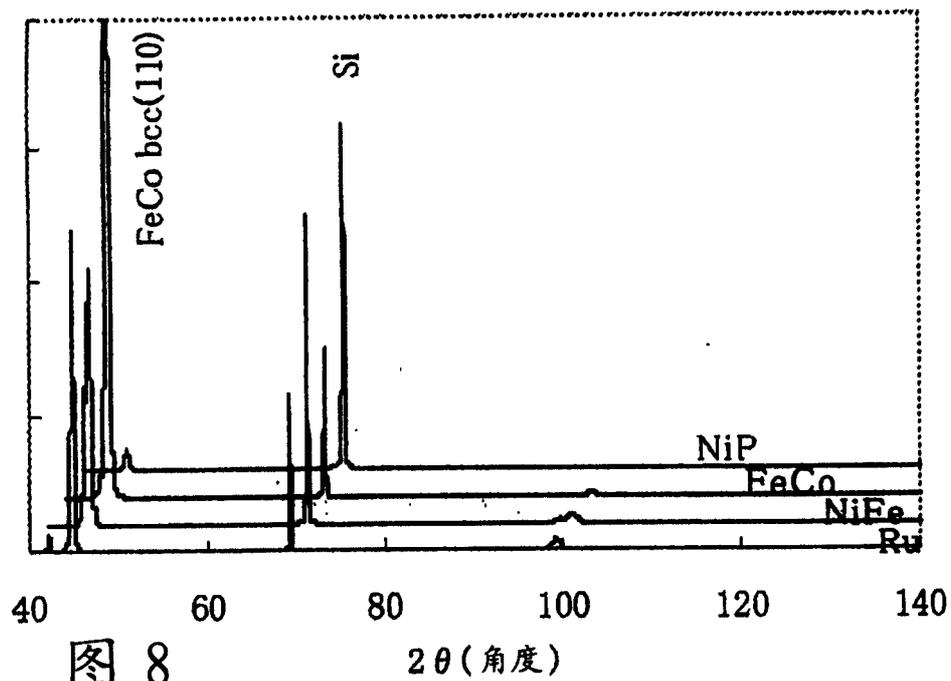


图 7



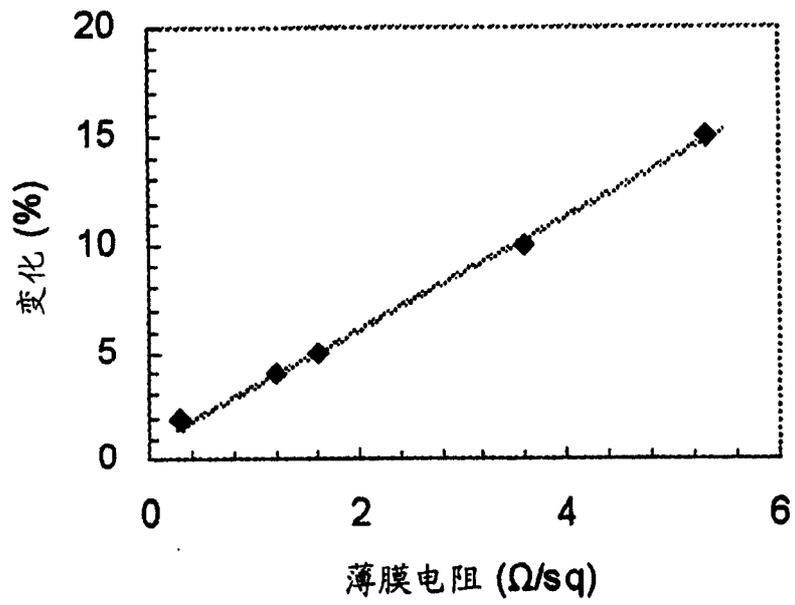


图 11