



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 96109409.5

[43]公开日 1997年3月26日

[11] 公开号 CN 1146038A

[22]申请日 96.8.9

[30]优先权

[32]95.8.11 [33]JP[31]205601/95

[71]申请人 富士通株式会社

地址 日本神奈川

[72]发明人 金井均

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标
事务所

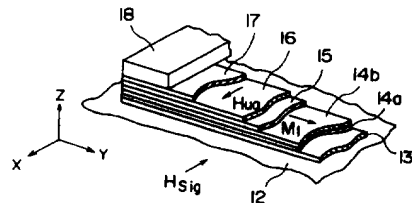
代理人 张祖昌

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图页数 5 页

[54]发明名称 自旋阀磁阻效应磁头及磁盘驱动器

[57]摘要

自旋阀磁阻效应磁头具有下列诸层：自由磁性层，它是双层的，由 CoFe 层及 NiFe 层复合而成，或者由 CoFe 层及 NiFe 型合金层复合而成；非磁性层；牵制磁性层和反铁磁性层，按照牵制磁性层与反铁磁性层之间的交换耦合，这一反铁磁性层用于固定牵制磁性层中的磁化方向。自由磁性层具有软磁性质，因为其中的两层有交换耦合；且 NiFe 层（或 NiFe 型合金层）与非磁性层之间由加热引起的界面扩散也被 CoFe 层阻止。



权 利 要 求 书

1.一种自旋阀磁阻效应磁头，它包括：

一个由 CoFe 层及 NiFe 层组成的自由磁性层；

一个叠置在 CoFe 层上的非磁性层；

一个叠置在非磁性层上的牵制磁性层；

一个反铁磁性层，由于牵制磁性层与反铁磁性层之间的交换耦合，它可用来固定牵制磁性层中的磁化方向；和

一对电极端子，用来在自由磁性层、非磁性层、牵制磁性层及反铁磁性层中通过电流。

2.依据权利要求 1 或 3 所述的自旋阀磁阻效应磁头，其特征是 NiFe 层的薄膜厚度是 10 埃或更厚。

3.一种自旋阀磁阻效应磁头，它包括：

一个由 CoFe 层及 NiFe 型合金层组成的自由磁性层；

一个叠置在 CoFe 层上的非磁性层；

一个叠置在非磁性层上的牵制磁性层；

一个反铁磁性层，由于牵制磁性层与反铁磁性层之间的交换耦合，它可用来固定牵制磁性层中的磁化方向；和

一对电极端子，用来在自由磁性层、非磁性层、牵制磁性层及反铁磁性层中通过电流。

4.依据权利要求 3 所述的自旋阀磁阻效应磁头，其特征是 NiFe 型合金层的薄膜厚度是 10 埃或更厚。

5.依据权利要求 3 所述的自旋阀磁阻效应磁头，其特征在于：NiFe 型合金层由一种合金制成，该合金是通过在 NiFe 中添加第三种原子元素而得到，因而当与 NiFe 情况相比时，可以减小各向异性磁阻效应。

6.依据权利要求 3 所述的自旋阀磁阻效应磁头，其特征在于：NiFe 型合金层由一种合金制成，该合金选自 NiFeCr、NiFeNb 及 NiFeRh。

7.依据权利要求 1 或 3 所述的自旋阀磁阻效应磁头，其特征在于：在 CoFe 层中 Co 的组成比在 95 到 85wt % 的范围内，而 CoFe 层中 Fe 的组成比在 5 到 15wt % 的范围内。

8.依据权利要求 1 或 3 所述的自旋阀磁阻效应磁头, 其特征在于: 在 CoFe 层中 Co 的组成比是 90wt %, 而 CoFe 层中 Fe 的组成比是 10wt%。

9.依据权利要求 1 所述的自旋阀磁阻效应磁头, 其特征是其牵制磁性层是由 CoFe 制造的。

10.依据权利要求 1 或 3 所述的自旋阀磁阻效应磁头, 其特征是非磁性层是由 Cu 制造的。

11.依据权利要求 1 或 3 所述的自旋阀磁阻效应磁头, 其特征是 CoFe 层的薄膜厚度是 30 埃或更厚。

12.一种磁盘驱动器, 它包含:

一个磁性记录介质, 用来记录磁性记录信息; 以及

一个自旋阀磁阻效应磁头, 用来在磁性记录介质上写入磁性记录信息及从磁性记录介质上读出磁性记录信息, 自旋阀磁阻效应磁头包括:

一个自由磁性层, 它是双层的, 由 CoFe 层及 NiFe 层复合而成, 或者由 CoFe 层及 NiFe 型合金层复合而成;

一个叠置在 CoFe 层上的非磁性层;

一个叠置在非磁性层上的牵制磁性层;

一个反铁磁性层, 依据牵制磁性层及反铁磁性层之间的交换耦合, 它用来固定牵制磁性层中的磁化方向; 和

一对电极端子, 用来在自由磁性层、非磁性层、牵制磁性层及反铁磁性层中通过电流。

说明书

自旋阀磁阻效应磁头及磁盘驱动器

本发明总的说来涉及自旋阀磁阻效应磁头及磁盘驱动器；更具体地说是涉及这样的自旋阀磁阻效应磁头，它依据自旋阀磁致电阻效应，可把由磁性介质读出的信号磁场的变化转换成电阻的变化率；还涉及使用自旋阀磁阻效应磁头的磁盘驱动器。

在磁传感器或磁头中，由 NiFe 制成的磁致电阻效应装置用作磁性材料。此外，由于要求磁传感器及磁头具有更高的灵敏度，一种巨磁阻（GMR）薄膜已引起人们的注意，以便获得高强度的读出信号。作为 GMR 薄膜一种的自旋阀磁阻效应薄膜受到特别注意，因为这种薄膜比较容易制造，并且在置入低磁场中时，薄膜中电阻的变化率要比通常的磁阻（MR）装置高。依据自旋阀磁致电阻效应工作的磁阻效应磁头已公开于 USP No.5,206,590 或 USP No.5, 159, 513。

图 1A 表示了常规磁阻效应磁头的一个实例，图 1B 是常规磁阻效应磁头的剖面视图。

如图 1A、1B 所示， $\text{Al}_2\text{O}_3\text{TiC}$ 基片 1、铝层 2、由钽制成的底层 3、由 NiFe 层 4a 及 Co 层 4b 复合成的自由磁性层 4、由 Cu 制成的非磁性金属层 5、由 Co 制成的牵制磁性层 6 以及由 FeMn 制成的反铁磁性层 7 沿薄膜厚度方向按上述顺序排列，以制成自旋阀磁阻效应装置。在本情况下，薄膜厚度方向用 Z 向表示。

由底层 3 到反铁磁性层 7 组成的多层结构中的各层都相应作成平面矩形的形状，由 Au 制成的一对电极端子 8 安排在多层结构上层反铁磁性层 7 两端的位置上。多层结构的位于两电极端子 8 之间的区域用作信号检测（或信号敏感）区域 S。矩形形状的短边沿 X 向，而矩形形状的长边沿 Y 向。

由于牵制磁性层 6 和反铁磁性层 7 之间的交换耦合，在牵制磁性层 6 中能生成交换耦合磁场 H_{ex} ，其磁化方向与 X 方向一致。因此，牵制

磁性层 6 是沿 X 方向固定磁化的，其磁化方向不会被沿 X 方向的信号磁场 H_{sig} 改变。

自由磁性层是指磁化方向 M 很容易被信号磁场 H_{sig} 改变的磁性层，而牵制磁性层则指这样的磁性层，其磁化方向 M 与自由磁性层的磁化方向相比则不容易被外界信号磁场 H_{sig} 改变。

自由磁性层 4 由 NiFe 层 4a 及 Co 层 4b 两层复合而成，其原因如下。

首先，在自由磁性层 4 中获得的磁致电阻效应的输出是只使用 NiFe 制成的自由磁性层中的输出高两倍或更多。其次，Co 层 4b 可起阻挡层的作用，以防止在非磁性金属层 5 和 NiFe 层 4a 之间的 Co 和 NiFe 的界面扩散，这种扩散是由于加热磁性层 4a 和 5 所致。

Co 层 4b 本身是一个半硬磁性薄膜。但是，NiFe 和 Co 的两层结构可以由于 NiFe 层 4a 及 Co 层 4b 之间的交换耦合而使层 4 软化。因此，两层结构可使层 4 具有自由磁性层的功能。具有两层结构的自由磁性层 4 的磁化方向 M 是沿 Y 向（或者，沿易磁化轴方向），在信号磁场 H_{sig} 强度为零的情况下，它垂直于牵制磁性层 6 的磁化方向（或 X 方向），自由磁性层 4 中的磁化方向 M 随信号磁场 H_{sig} 而改变。

由底层 3 到反铁磁性层 7 组成的多层结构的总电阻与 θ 角的余弦 $\cos\theta$ 成比例地变化， θ 角是牵制磁性层 6 的磁化方向与自由磁性层 4 的磁化方向的夹角。常值电流通过多层结构中位于一个电极端子 8 到另一个电极端子 8 之间的信号检测区域（或敏感区域）S。当总电阻改变时，在两个电极端子 8 之间的微分电压也改变。总电阻的变化可以通过检测微分电压的变化按照欧姆定律计算出来。

牵制磁性层 6 的磁化方向与自由磁性层 4 的磁化方向作成相互垂直的原因是使总电阻随信号磁场 H_{sig} 线性变化。

为了防止在非磁性金属层 5 和 NiFe 层 4a 之间由于两层 4a 及 5 的加热而引起的 Co 及 NiFe 的扩散，要求 Co 层 4b 的厚度是 30 埃或更厚一些。

本发明者通过实验观察了外界磁场与自旋阀 MR 装置中电阻的关系，在这个自旋阀 MR 装置中组成自由磁性层 4 的 Co 层 4b 的薄膜厚度是 30 埃或更厚一些。

用作实验的第一个样品有着与图 1A 和图 1B 表示的自旋阀 MR 装置相同的层结构。即，由 Ta 制成的底层 3 的薄膜厚度是 50 埃。NiFe 层 4a 的薄膜厚度是 20 埃，Co 层 4b 的薄膜厚度是 55 埃，由 Cu 制成的非磁性金属层 5 的薄膜厚度是 32 埃，由 Co 制成的牵制磁性层 6 的薄膜厚度是 55 埃，最后，由 FeMn 制成的反铁磁性层 7 的薄膜厚度是 150 埃。

作为实验的结果，得到了如图 2 所示的磁致电阻 (MR) 效应特性曲线。这些 MR 效应特性曲线是通过在 -200 奥斯特 (Oe) 到 +200 奥斯特 (Oe) 的范围内持续增加和减少外磁场强度而得到的。由图 2 可以看出，在外磁场强度为零的特定点附近，特性曲线的上升边和下降边之间的外磁场强度差大约是 40 奥斯特 (Oe)。由于强度差等价于自旋阀 MR 装置中矫顽力 H_c 值的两倍，第一样品中的矫顽力 H_c 不小于 20 奥斯特 (Oe)，并且自旋阀 MR 装置对信号磁场 H_{sig} 的灵敏度降低了。

矫顽力 H_c 增加到 20 奥斯特 (Oe) 的原因是因为自由磁性层 4 中存在有较厚薄膜的 Co 层 4b。因此，本发明者试图用减薄 Co 层 4b 来减小自旋阀 MR 装置的矫顽力 H_c 。

实验用的第二个样品具有与图 1A 及图 1B 所示自旋阀 MR 装置相同的层结构。即：由 Ta 制成的底层 3 的薄膜厚度是 50 埃，NiFe 层 4a 的薄膜厚度是 55 埃，Co 层 4b 的薄膜厚度是 20 埃，由 Cu 制成的非磁性金属层 5 的薄膜厚度是 26 埃，由 Co 制成的牵制磁性层 6 的薄膜厚度是 55 埃，最后，由 FeMn 制成的反铁磁性层 7 的薄膜厚度是 150 埃。

实验结果，得到了图 3 所示的 MR 效应特性曲线，自旋阀 MR 装置中的矫顽力 H_c 降到了 6 奥斯特 (Oe)，且此自旋阀 MR 装置中电阻的变化率 ΔMR 也比图 2 所示的提高了。

虽然如此，由于 Co 层 4b 减薄到 20 埃，在非磁性金属层 5 及 NiFe 层 4a 之间由于层 4a 和 5 的加热引起的 Co 和 NiFe 的界面扩散却不能防止，还有一个缺点，即软化自由磁性层 4 的性能也降低了。

本发明的目的是提供一种自旋阀磁阻效应磁头，其中可以防止在非磁性金属层及自由磁性层之间由于加热各层而引起的材料界面扩散并能输出高强度的读出信号，还提供一种使用这种磁头的磁性记录仪器。

依据本发明的自旋阀磁阻效应磁头的自由磁性层被制成由 CoFe 层及 NiFe 层复合成的双层结构，或者被制成由 CoFe 层和 NiFe 型合金层复合成的另一双层结构。

即使 CoFe 层的薄膜厚度等于或大于 30 埃，制成双层结构的自由磁性层仍具有软磁性质。此外，已经实验查明，具有 CoFe 层的自由磁性层减小了自旋阀磁阻效应装置的矫顽力。在这种情况下，为了减小矫顽力，最好将 NiFe 层的薄膜厚度作成 10 埃或更厚一些，在 CoFe 层中 Co 的组成比最好是 90wt%，而铁则为 10wt%。

由于 CoFe 层的薄膜厚度是等于或大于 30 埃，因而能可靠地防止在非磁性金属层和自由磁性层间由各层的加热引起的材料的界面扩散，自由磁性层的软磁性质就能保持住。

此外，实验还查明，由于采用了含有 CoFe 层的制成双层结构的自由磁性层，磁头中电阻随磁场强度变化的变化率也提高了。

在 NiFe 型合金层是由 NiFeCr、NiFeNb 或 NiFeRh 制造的情况下，由各向异性磁致电阻（AMR）效应导致的噪声也可减小。此外，由于 NiFeCr、NiFeNb 及 NiFeRh 的比电阻比 NiFe 的比电阻高，在磁头中的电流利用效率也可提高，并能输出高强度的读出信号。

此外，当牵制磁性层也用和自由磁性层中 CoFe 层相同的组成材料制造时，在金属溅射操作中为形成每一层所耗用的靶材料的体积就能减少。

图 1A 是普通的自旋阀磁阻效应磁头的局部的透视图；

图 1B 是图 1A 所示的普通自旋阀磁阻效应磁头的横剖面图；

图 2 是特性曲线，表示图 1 所示的普通自旋阀磁阻效应磁头中磁场强度变化与电阻变化率之间的关系；

图 3 是特性曲线，表示在普通自旋阀磁阻效应磁头中，当自由磁性层中的 Co 层的薄膜厚度减薄时，磁场强度的变化与电阻的变化率之间的关系；

图 4A 是依据本发明实施例的自旋阀磁阻效应磁头的局部的透视图；

图 4B 是图 4A 所示自旋阀磁阻效应磁头的横剖面图；

图 5 是特性曲线，表示图 4A 所示自旋间磁阻效应磁头中磁场强度变化与电阻变化率之间的关系；

图 6 是带有图 4A 所示自旋阀磁阻效应磁头的磁性记录装置的局部的横剖面图；

图 7 是磁盘驱动器的平面图，它主要由依据本发明的具有 MR 磁头的浮动块及磁盘组成。

依据本发明的自旋阀磁阻效应磁头的推荐实施例将参照图 4A 及图 4B 作详细说明。

如图 4A 和图 4B 所示，自旋阀磁阻效应装置（或称自旋阀磁阻效应磁头）包括：由 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{TiC}$ 或类似物制作的基片 11，铝层 12，由钽制作的底层 13，由 NiFe 层 14a 和 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层 14b 制成双层结构的自由磁性层 14，由 Cu 制作的非磁性金属层 15，由 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 制成的牵制磁性层 16 以及由 FeMn 制作的反铁磁性层 17，它们沿薄膜叠置方向按上述次序排列。在本情况下，薄膜叠置方向用 Z 方向表示。

从底层 13 到反铁磁性层 17 范围内的多层结构的各层均相应制成平面矩形形状，由 Au 制成的一对电极端子 18 安排在多层结构上层反铁磁性层 17 两端的区域上。多层结构中位于两个电极端子 18 之间的区域就用作信号检测区域（或敏感区域）S。矩形形状的短边沿 X 方向，而长边沿 Y 方向。

在牵制磁层 16 中，由于牵制磁层 16 与反铁磁性层 17 之间的交换耦合，生成了一个交换耦合磁场 H_{ex} ，其磁化方向与 X 方向一致。因此，牵制磁性层 16 固定磁化于 X 方向，其磁化方向不会被信号磁场 H_{sig} 改变，而信号磁场的强度在 X 方向是变化的。

在自旋阀磁阻效应装置的上述结构中，自由磁性层 14 是由 NiFe 层 14a 及 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层 14b 两层复合而成的。由于 NiFe 层 14a 及 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层 14b 的交换耦合，自由磁性层 14 具有软磁性质，且 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层 14b 还能阻止在 NiFe 层 14a 及非磁性金属层 15 之间由 14a 和 15 层的加热而导致的 NiFe 和 Cu 的界面扩散。

当 CoFe 磁体中 Co 对 Fe 的组成比是特定的组成比 90/10 以使 CoFe 磁体形成 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 磁体时，CoFe 磁体的矫顽力 H_c 是最小的，虽然如此，如果在 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层 14b 中 Co 与 Fe 的真实组成比与特定组成比之间的差别是百分之几以内的话，这种差别是允许的。

具有双层结构的自由磁性层 14 的磁化方向 M_1 是沿 Y 方向的（或者说沿易磁化轴方向），当信号磁场 H_{sig} 的强度是零时，它与牵制磁性层 16 的磁化方向（X 方向）是垂直的。当沿 X 方向的信号磁场 H_{sig} 的磁化分量作用到自旋阀磁阻效应装置上时，自由磁性层 14 的磁化方向 M_1 就会改变。

从底层 13 到反铁磁性层 17 范围内的多层结构的总电阻与 θ 角的余弦（ $\cos\theta$ ）成比例地变化，此处 θ 是牵制磁性层 16 的磁化方向和自由磁性层 14 的磁化方向之间的夹角。常值电流从一个电极端子 18 到另一个电极端子 18 通过多层结构中的信号检测区域（或敏感区域）S。当总电阻改变时，在电极端子 18 之间的微分电压也随之改变。总电阻的变化可以通过检测微分电压差的变化根据欧姆定律计算出来。

下面说明在自旋阀磁阻效应装置中的磁致电阻（MR）特性。

如图 5 所示，自旋阀磁阻效应装置中的 MR 特性曲线（磁场强度的变化与电阻的变化率 ΔMR 之间的关系）在实验中是通过在 -200 奥斯特（Oe）到 200 奥斯特（Oe）的范围内持续提高和降低外磁场强度而得到的。实验结果表明，自旋阀磁阻效应装置的矫顽力 H_c 已显著地减小到 4 奥斯特（Oe），并且几乎与 NiFe 的矫顽力相等。不仅如此，电阻的变化率 ΔMR 与图 2 所示的普通磁头相比也提高了，对信号磁场 H_{sig} 的灵敏度也改善了。

在自旋阀磁阻效应装置中矫顽力 H_c 得以减小的原因在于采用了 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层 14b 作为双层结构的自由磁性层 14 中的一层。此外，由于 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层 14b 的薄膜厚度是 55 埃，在 NiFe 层 14a 及非磁性金属层 15 之间由层 14a 及 15 的加热导致的 NiFe 和 Cu 的界面扩散就能被 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层 14b 阻止。详细地说，如果 Ni 和 Cu 之间的固溶度是 100，则 Fe 和 Cu 之间及 Co 和 Cu 之间的固溶度分别在 4 到 5 的范围内。因此，在 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层 14b 及非磁性金属层 15 之间的 CoFe 和 Cu 的界面扩散不会发生。其结果是，自由磁性层 14 的软磁性质可以更好地保持。在这种情况下，要求将 NiFe 层 14a 的薄膜厚度作成 10 埃或更厚一些，以便减小自旋阀磁阻效应装置的矫顽力 H_c 。

在本实施例中使用了 NiFe 层 14a。然而下述方法也是实用的，即由 NiFeCr、NiFeNb、NiFeRh 或由 NiFe 和一种原子元素混合得到的类似物制成的合金，并由该合金制成的 NiFe 型合金层来替代 NiFe 层 14a。在自旋阀磁阻效应中，导致噪声的各向异性磁致电阻 (AMR) 效应，在使用 NiFe 型合金层的情况下比使用 NiFe 层 14a 的情况下显著减小，因此，信噪比 (S/N) 可以更加提高。此外，由于 NiFe 型合金层的比电阻比 NiFe 层 14a 的比电阻高，在自旋阀磁阻效应装置中的电流利用效率也可更加提高，读出信号的输出强度也能更加提高。

下面，参照图 6 说明磁性记录仪器的磁头以及磁性记录介质，在磁头中采用了依据本发明的自旋阀磁阻效应装置。

如图 6 所示，磁盘驱动器的磁头包括基片 (或浮动块) 41。装在基片 41 上的再生头 42 及与再生头 42 相邻的记录头 43。再生头 42 则包括有：第一磁屏蔽层 44，在第一磁屏蔽层 44 上通过绝缘薄膜 (图上未示出) 安装的自旋阀 MR 效应装置 45，由自旋阀 MR 效应装置 45 引出的电极端子 (或引入端子 4b，覆盖自旋阀 MR 效应装置 45 及电极端子 4b 的绝缘薄膜 47，和在绝缘薄膜 47 上面的第二磁屏蔽层 48。

自旋阀 MR 效应装置 45 的构造已示于图 4A 及 4B。虽然如此，

如果自旋阀 MR 效应装置 45 中各层的顺序是：基片 11，铝层 12，底层 13，反铁磁性层 17，牵制磁性层 16，非磁性金属层 15 及自由磁性层 14；则此装置也是实用的。

记录头 43 包括：位于第二磁屏蔽层 48 上面的第三磁屏蔽层 49，填塞于第二和第二磁屏蔽层 48、49 所包空间的绝缘层 50，和埋入绝缘层 50 的线圈 51。

第一、第二和第三磁屏蔽层 44、48 和 50 分别由一种软磁体构成，而在磁性记录介质 52 与第一、第二、第三磁屏蔽层 44、48、50 的每一层之间均形成了间隙。

如上所述，自旋阀 MR 效应装置 45 的自由磁性层 14 是作成双层结构，它由 NiFe 层 14a 及 CoFe 层 14b 复合而成，或者是由 NiFe 型合金层及 CoFe 层 14b 复合而成的其它双层结构；因此，自旋阀磁阻效应磁头的矫顽力可以变小。

此外，当 NiFe 层 14a 的薄膜厚度取 10 埃或更厚一些，且 CoFe 层 14b 中 Co 的组成比取在 95 到 85wt % 范围内，Fe 的组成比取在 5 到 15wt % 的范围内；则自旋阀磁阻效应磁头的矫顽力 H_c 显著减小。特别是，当在 CoFe 层 14b 中 Co 的组成比取为 90wt%，Fe 的组成比取为 10wt % 时，矫顽力 H_c 减至最小。

此外，当 NiFe 层 14a 的薄膜厚度最为 30 埃或更厚一些，在 NiFe 层 14a 及非磁性金属层 15 之间由层 14a 及 15 的加热引起的 NiFe 和 Cu 的界面扩散，能被 $Co_{90}Fe_{10}$ 层 14b 有效地阻止，因而自由磁性层 14 的软磁性质能更好地保持。

此外，由于磁头中装备了具有 CoFe 层 14b 的双层结构自由磁性层 14，随磁场强度变化的磁头电阻变化率也可提高。

当 NiFe 型合金层是由 NiFeCr、NiFeNb 及 NiFeRh 制造时，磁头中由 AMR 效应引起的噪声可以降低。不仅如此，由于 NiFeCr、NiFeNb 或 NiFeRh 的比电阻比 NiFe 的比电阻高，在磁头中的电流利用效率也可提高，因而能输出具有高强度的读出信号。

如图 7 所示，磁盘驱动器 60 包括磁盘 52、具有 MR 磁头的浮

动块 41 以及支承浮动块 41 的弹簧臂 53 所组成。

图1A (现有技术)

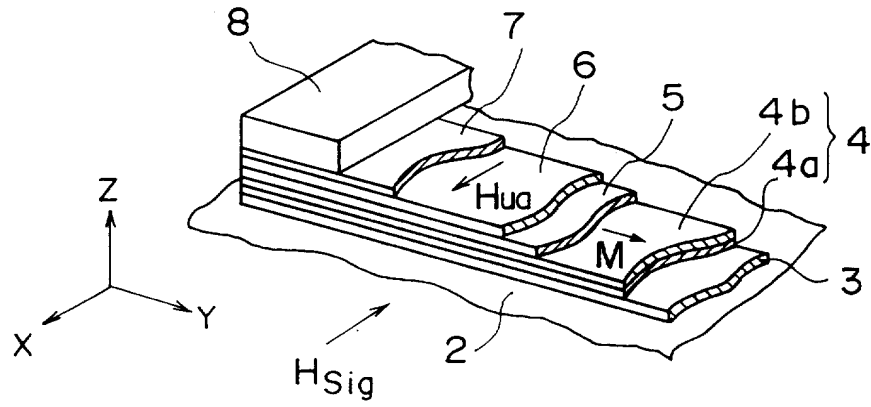


图1B (现有技术)

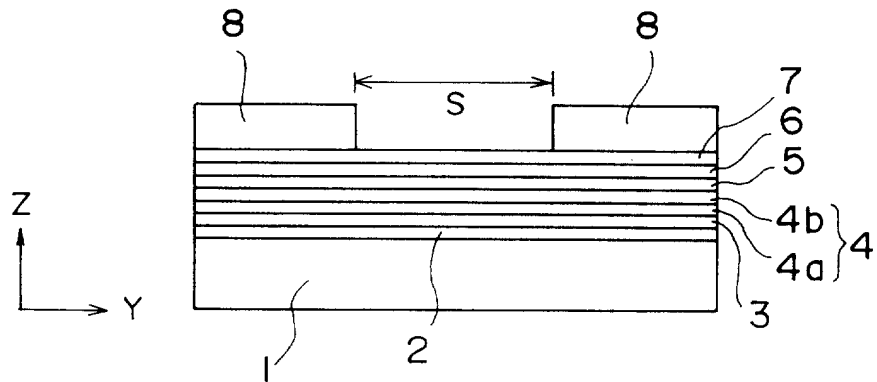


图2 (现有技术)

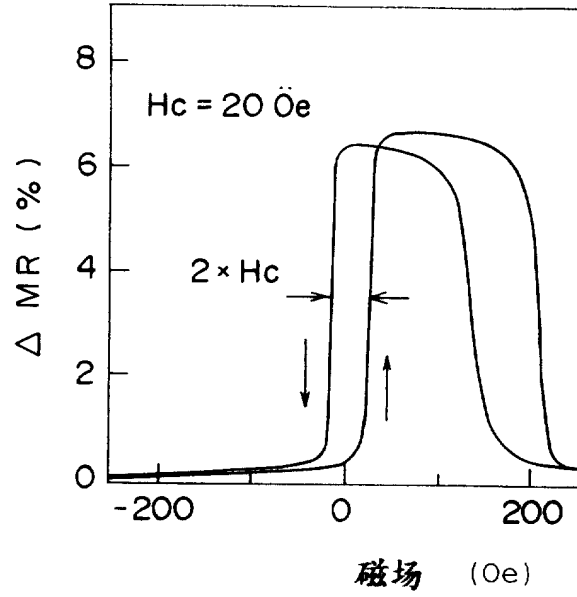


图3 (现有技术)

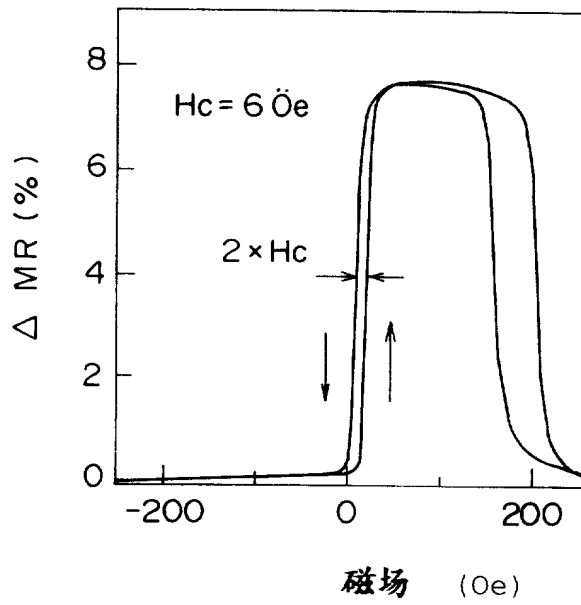


图4A

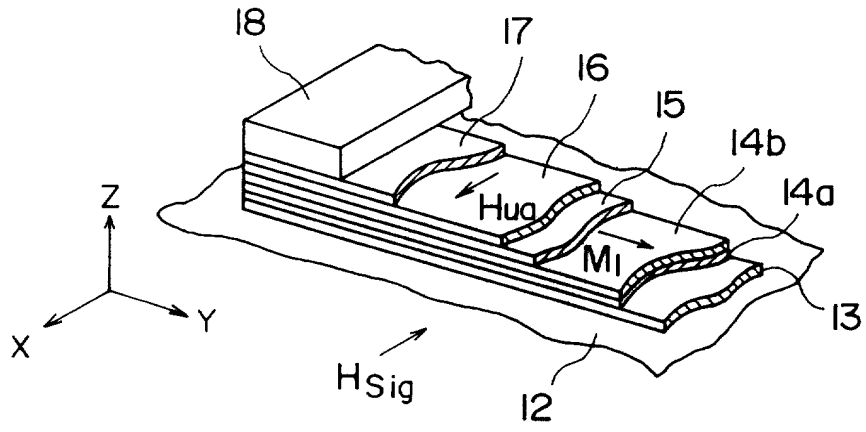


图4B

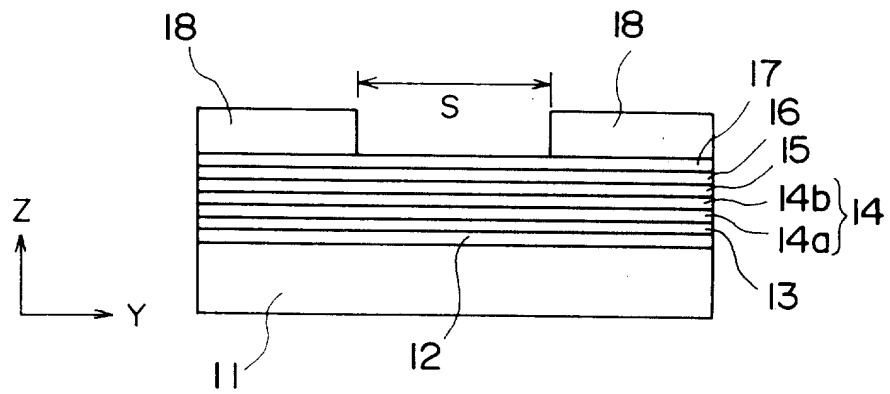


图5

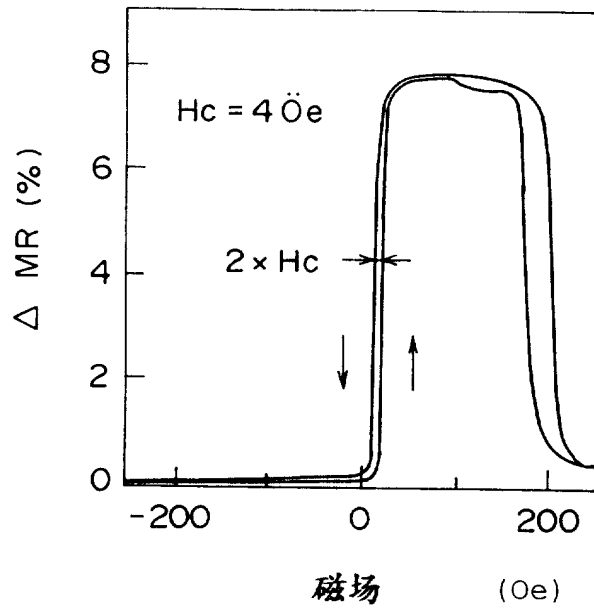


图6

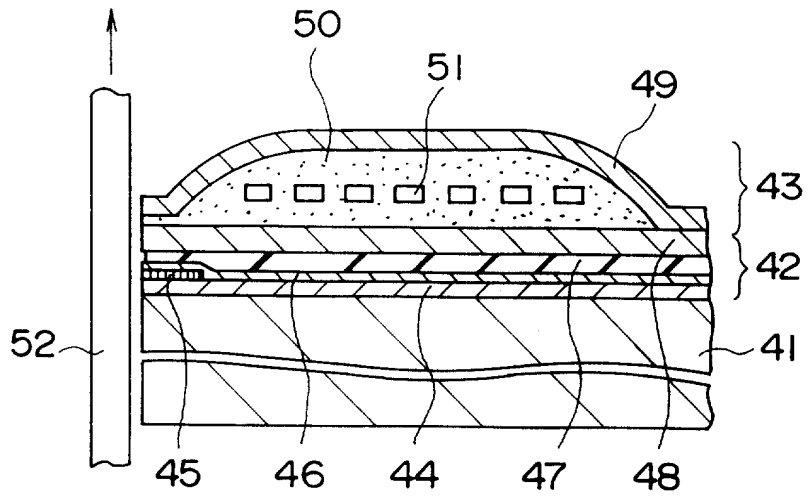


图7

