



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98125636.8

[45] 授权公告日 2003 年 10 月 15 日

[11] 授权公告号 CN 1124594C

[22] 申请日 1998.9.29 [21] 申请号 98125636.8

[30] 优先权

[32] 1997.9.29 [33] JP [31] 263212/1997

[71] 专利权人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪

[72] 发明人 川分康博 里见三男 杉田康成

榊间博

[56] 参考文献

JP8-279117 1996.10.22 G11B5/39

US-5648885 1997.07.15 G11B5/39

审查员 马美红

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

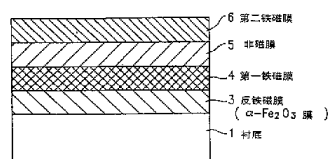
代理人 甘玲

权利要求书 5 页 说明书 25 页 附图 15 页

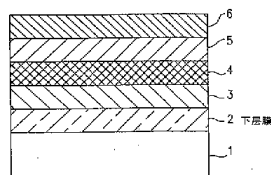
[54] 发明名称 磁阻效应器件,磁阻头及制造磁阻效应器件的方法

[57] 摘要

本发明的磁阻效应器件包括一个多层膜。该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜、及第二铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上。反铁磁膜包括  $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$  膜。反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度约为 0.5nm 或以下，以促进在反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射。



A



B

1、磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜，它们以此顺序直接地或经过一下层设在非磁衬底上，其中：

反铁磁膜包括  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜；及

反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为 0.5nm 或以下，以促进在反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射。

2、根据权利要求 1 的磁阻效应器件，其中第一铁磁膜包括 Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub> 合金层， $0 < x \leq 0.5$ ， $x$  表示原子组分比。

3、根据权利要求 1 的磁阻效应器件，其中第一铁磁膜通过在 Ni-Fe 合金层或 Ni-Fe-Co 合金层上设置 Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub> 合金层， $0 < x \leq 0.5$ ， $x$  表示原子组分比。

4、根据权利要求 1 的磁阻效应器件，其中下层的主要成分是 Pt 或 Au。

5、根据权利要求 1 的磁阻效应器件，其中  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜的厚度在 5nm 及 40nm 之间的范围中。

6、根据权利要求 1 的磁阻效应器件，其中第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置，以使得它与待检测的信号磁场方向垂直。

7、磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，其中：

反铁磁膜包括具有  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜及第二反铁磁膜的分层结构，并且反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为 0.5nm 或以下。

8、根据权利要求 7 的磁阻效应器件，其中第二反铁磁膜包括一个 NiO 膜或一个 CoO 膜。

9、根据权利要求 7 的磁阻效应器件，其中第二反铁磁膜设置在  $\alpha$

-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜上面。

10、根据权利要求8的磁阻效应器件，其中 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜设置在NiO膜上面。

11、根据权利要求7的磁阻效应器件，其中第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置，以使得它与待检测的信号磁场方向垂直。

12、磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括第一反铁磁膜、第一铁磁膜、第一非磁膜、第二铁磁膜、第二非磁膜、第三铁磁膜及第二反铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，其中：

第一反铁磁膜包括一个 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜；及

第一反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为0.5nm或以下，以促进在第一反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射。

13、根据权利要求12的磁阻效应器件，其中第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置，以使得它与待检测的信号磁场方向垂直。

14、磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括第一反铁磁膜、第一铁磁膜、第一非磁膜、第二铁磁膜、第二非磁膜、第三铁磁膜及第二反铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，其中：

第一反铁磁膜包括具有一个 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜及第三反铁磁膜的分层结构，并且该第一反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为0.5nm或以下。

15、根据权利要求14的磁阻效应器件，其中第二反铁磁膜包括一个Ir-Mn膜。

16、根据权利要求15的磁阻效应器件，其中第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置，以使得它与待检测的信号磁场方向垂直。

17、根据权利要求14的磁阻效应器件，其中第一铁磁膜及第三铁磁膜中至少一个包括间接交换耦合膜。

18、磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括反铁磁膜、间接交换耦合膜、第一非磁膜、第一铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，其中：

反铁磁膜包括一个  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜, 并且该反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为 0.5nm 或以下; 及

间接交换耦合膜包括第二非磁膜及一对在中间夹放第二非磁膜的第二铁磁膜。

19、根据权利要求 18 的磁阻效应器件, 其中第二铁磁膜的主要成分是 Co。

20、根据权利要求 19 的磁阻效应器件, 其中第二非磁膜的主要成分是 Ru。

21、一种磁阻头, 包括:

磁阻效应器件, 包括多层膜, 该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜, 它们以此顺序直接地或经过一下层设在非磁衬底上, 其中:

反铁磁膜包括  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜; 及

反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为 0.5nm 或以下, 以促进在反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射;

其中第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置, 以使得它与待检测的信号磁场方向垂直; 以及

用于将磁阻效应器件与屏蔽部分隔开的屏蔽间隙部分。

22、用于制造磁阻效应器件的方法, 该器件包括多层膜, 该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜, 它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上, 该方法包括:

在非磁衬底上直接地或通过一下层形成厚度在 5nm 至 40nm 之间的范围中的反铁磁膜的第一步骤; 及

在反铁磁膜上以其顺序沉积第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜, 以使得反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为 0.5nm 或以下, 以促进在反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射的第二步骤; 其中,

第一步骤包括一个溅射其主要成分为  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的靶的步骤。

23、用于制造磁阻效应器件的方法，该器件包括多层膜，该多层膜包括第一反铁磁膜、第一铁磁膜、第一非磁膜、第二铁磁膜、第二非磁膜、第三铁磁膜及第二反铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，该方法包括：

在非磁衬底上直接地或通过一下层形成第一反铁磁膜的第一步骤；

在第一反铁磁膜上以其顺序沉积第一铁磁膜、第一非磁膜、第二铁磁膜、第二非磁膜、第三铁磁膜及第二反铁磁膜，以使得反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为 0.5nm 或以下，以促进在反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射的第二步骤；其中，

第一步骤包括一个溅射其主要成分为  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的靶的步骤。

24、一种磁阻头，包括：

磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，其中：

反铁磁膜包括具有  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜及第二反铁磁膜的分层结构，并且反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为 0.5nm 或以下；

其中第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置，以使得它与待检测的信号磁场方向垂直；以及

用于将磁阻效应器件与屏蔽部分隔开的屏蔽间隙部分。

25、一种磁阻头，包括：

磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括第一反铁磁膜、第一铁磁膜、第一非磁膜、第二铁磁膜、第二非磁膜、第三铁磁膜及第二反铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，其中：

第一反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为 0.5nm 或以下，以促进在第一反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射；

其中第一反铁磁膜包括具有一个  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜及第三反铁磁膜的

分层结构，并且其中第二反铁磁膜包括一个 Ir-Mn 膜；以及  
用于将磁阻效应器件与屏蔽部分隔开的屏蔽间隙部分。

26、如权利要求 25 所述的磁阻头，其中第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置，以使得它与待检测的信号磁场方向垂直。

27、一种磁阻头，包括：

磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括反铁磁膜、间接交换耦合膜、第一非磁膜、第一铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，其中：

反铁磁膜包括一个  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜，并且该反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为 0.5nm 或以下；及

间接交换耦合膜包括第二非磁膜及一对在中间夹放第二非磁膜的第二铁磁膜；

第二铁磁膜的主要成分为 Co；以及  
用于将磁阻效应器件与屏蔽部分隔开的屏蔽间隙部分。

## 磁阻效应器件，磁阻头及制造磁阻效应器件的方法

### 技术领域

本发明涉及用低磁场引起实质性磁阻变化的磁阻效应器件，包括该器件并适于用在高密度磁记录及重播中的磁阻头，及制造磁阻效应器件的方法。

### 背景技术

磁阻传感器(以下简称为“MR 传感器”)及使用磁阻效应器件(以下简称为“MR 器件”)的磁阻头(以下简称为“MR 头”)已被开发并在实际中使用。作为 MR 器件中的磁体，通常使用  $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$  的坡莫合金膜或  $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.2}$  的合金膜。当使用这种磁阻效应材料时，所产生的磁阻变化率(以下简称为“MR 率”约为 2%。一直希望有大的 MR 率的高灵敏度 MR 器件。近来，已经发现一种[Fe/Cr]或[Co/Ru]人造栅膜，它通过金属的非磁薄膜、如 Cr 膜或 Ru 膜反铁磁地连接，该膜在强磁场下(约 1 至 10kOe)呈现实质上 100%的大磁阻变化(大磁阻效应)(Physical Review Letter, Vol, 61,P2472(1988); Physical Review Letter,Vol.64,P2304(1990))。但是，这种栅膜需要几 kOe 至几十 kOe 的强磁场，以获得大的 MR 率，因此它用作磁头或类似装置是不实际的。

其中对 Ni-Fe/Cu/Ni-Fe 附设反铁磁材料 Fe-Mn 的旋转阀型膜也被推荐出现(Journal of Magnetism and Magnetic Materials 93,P.101(1991))，它能在很小的磁场下工作。在这种旋转阀膜中，与铁磁材料接触的铁磁膜(引线层)通过交换连接以单方向各向异性设置，由此使铁磁膜的磁化方向固定在一定方向上。另一方面，通过引线层及非磁层设置的铁磁层(自由层)的磁化方向可响应于外部信号磁场相对自由地变化。因此，引线层及自由层的各磁化方向彼此改变，由此改变了电阻。这种 MR 材料必须的操作磁场小，及其线性度也很好。但是，这种 MR 材料的 MR 率低约 2%，

及 Fe-Mn 膜具有差的抗腐蚀性能。此外，由于 Fe-Mn 膜的 Neel 温度低，器件的特性实质上依赖于温度。

有人推荐使用氧化物反铁磁体如 NiO(Nihon Oyo Jiki Gakkaishi 18, p.355 (1994))或  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(日本公开文献 Nos.8-279117 及 9-92904)作为用在旋转阀膜中的反铁磁体。使用 NiO 膜的旋转阀膜具有约 4%至 5%的 MR 率，它大于使用 Fe-Mn 的旋转阀膜的 MR 率。但是，因为它难于制造及它的交换偏置磁场的热稳定性差，该旋转阀膜未被使用。在使用  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的旋转阀膜的情况下，引线层中单向各向异性弱及它的矫顽力大。因此，这种旋转阀膜可能为矫顽力不同类型的旋转阀膜。此外，除非在沉积后使膜经热处理否则不能获得足够的 MR 率。

另一种具有 Ni-Fe/Cu/Co-Pt 结构及使用硬磁膜及软磁膜之间矫顽力差别的旋转阀膜也被推荐出来，其中使用硬磁材料(例如 Co-Pt)来代替反铁磁材料。在此情况下，通过使用小于硬磁膜所需的矫顽力旋转软磁膜(Ni-Fe 膜)的磁化方向来产生磁化平行度或磁化逆平行度。但是，由于它难于改善软磁层的特性，这种类型的旋转阀未在实际中使用。

如上所述，传统的旋转阀类型的 MR 器件不具有足够的 MR 率。使用 NiO 的传统旋转阀提供了高 MR 率，但具有如热稳定性差、MR 曲线磁滞不理想及阻塞磁场不足的问题。在另外传统的旋转阀膜  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的情况下，MR 率低于使用 NiO 的旋转阀膜的 MR 率，并除非使膜在沉积后经热处理否则不能获得足够的 MR 率。

### **发明概述**

根据本发明的一个方面，本发明的磁阻效应器件包括多层膜，该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜，它们以此顺序直接或经过下一层设在非磁衬底上。该反铁磁膜包括  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜。反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度反铁磁膜为 0.5nm 或以下，以促进在反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射。

在本发明的一个实施例中，第一铁磁膜包括 Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub> 合金层(0<x≤

0.5, 其中  $x$  表示原子组分比)。

在本发明的一个实施例中, 第一铁磁膜通过在 Ni-Fe 合金层或 Ni-Fe-Co 合金层上设置  $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$  合金层( $0 < x \leq 0.5$ , 其中  $x$  表示原子组分比)。

在本发明的一个实施例中, 下层的主要成分是 Pt 或 Au。

在本发明的一个实施例中,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜的厚度在反铁磁膜 5nm 及反铁磁膜 40nm 之间的范围中。

在本发明的一个实施例中, 第二铁磁膜的易磁化轴这样布置, 以使得它与待检测的信号磁场方向垂直。

根据本发明的另一方面, 一种磁阻效应器件包括多层膜。该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜, 它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上。该反铁磁膜包括具有  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜及第二反铁磁膜的分层结构, 并且该反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度反铁磁膜为 0.5nm 或以下。

在本发明的一个实施例中, 第二反铁磁膜包括一个 NiO 膜或 CoO 膜。

在本发明的一个实施例中, 第二反铁磁膜设置在  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜上。

在本发明的一个实施例中,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜设置在 NiO 膜上面。

在本发明的一个实施例中, 第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置, 以使得它与待检测的信号磁场方向垂直。

根据本发明的另一方面, 一种磁阻效应器件包括多层膜。该多层膜包括第一反铁磁膜、第一铁磁膜、第一非磁膜、第二铁磁膜、第二非磁膜、第三铁磁膜及第二反铁磁膜, 它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上。第一反铁磁膜包括一个  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜。反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度反铁磁膜为 0.5nm 或以下, 以促进在反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射。

在本发明的一个实施例中, 第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置, 以使得它与待检测的信号磁场方向垂直。

根据本发明的又一方面，一种磁阻效应器件包括多层膜。该多层膜包括第一反铁磁膜、第一铁磁膜、第一非磁膜、第二铁磁膜、第二非磁膜、第三铁磁膜及第二反铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上。第一反铁磁膜包括具有一个  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜及第三反铁磁膜的分层结构，并且该反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度反铁磁膜为 0.5nm 或以下。

在本发明的一个实施例中，第二反铁磁膜包括一个 Ir-Mn 膜。

在本发明的一个实施例中，第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置，以使得它与待检测的信号磁场方向垂直。

在本发明的一个实施例中，第一铁磁膜及第三铁磁膜中至少一个包括间接交换耦合膜。

根据本发明的另一方面，一种磁阻效应器件包括反铁磁膜、间接交换耦合膜、第一非磁膜、第一铁磁膜、它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上。反铁磁膜包括一个  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜并且该反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度反铁磁膜为 0.5nm 或以下。间接交换耦合膜包括第二非磁膜及一对在其中夹放第二非磁膜的第二铁磁膜。

在本发明的一个实施例中，第二铁磁膜的主要成分是 Co。

在本发明的一个实施例中，第二非磁膜的主要成分是 Ru。

根据本发明的另一方面，一种磁阻头包括：磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜，它们以此顺序直接地或经过一下层设在非磁衬底上，其中：反铁磁膜包括  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜；及反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度反铁磁膜为 0.5nm 或以下，以促进在反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射；其中第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置，以使得它与待检测的信号磁场方向垂直；以及用于将磁阻效应器件与屏蔽部分隔开的屏蔽间隙部分。

根据本发明的另一方面，一种磁阻头包括：磁阻效应器件，包括多

层膜，该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，其中：反铁磁膜包括具有 $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 膜及第二反铁磁膜的分层结构，并且反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度反铁磁膜为0.5nm或以下；其中第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置，以使得它与待检测的信号磁场方向垂直；以及用于将磁阻效应器件与屏蔽部分隔开的屏蔽间隙部分。

根据本发明的另一方面，一种磁阻头包括：磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括第一反铁磁膜、第一铁磁膜、第一非磁膜、第二铁磁膜、第二非磁膜、第三铁磁膜及第二反铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，其中第一反铁磁膜包括具有一个 $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 膜及第三反铁磁膜的分层结构，并且其中第二反铁磁膜包括一个Ir-Mn膜；以及用于将磁阻效应器件与屏蔽部分隔开的屏蔽间隙部分。

在本发明的一个实施例中，一种磁阻头中的第二铁磁膜的易磁化轴这样地布置，以使得它与待检测的信号磁场方向垂直。

根据本发明的另一方面，一种磁阻头包括：磁阻效应器件，包括多层膜，该多层膜包括反铁磁膜、间接交换耦合膜、第一非磁膜、第一铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上，其中：反铁磁膜包括一个 $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 膜，并且该反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度反铁磁膜为0.5nm或以下；及间接交换耦合膜包括第二非磁膜及一对在其中间夹放第二非磁膜的第二铁磁膜；第二铁磁膜的主要成分为Co；以及用于将磁阻效应器件与屏蔽部分隔开的屏蔽间隙部分。

根据本发明的又一方面，提供了一种制造磁阻效应器件的方法。该器件包括多层膜，该多层膜包括反铁磁膜、第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜，它们以此顺序地或通过一下层设在非磁衬底上。该方法包括：在非磁衬底上直接地或通过一下层形成厚度在反铁磁膜5nm及反铁磁膜40nm之间的范围中的反铁磁膜的第一步骤；及在反铁磁膜上以其顺序沉积第一铁磁膜、非磁膜及第二铁磁膜，以使得反铁磁膜和第一铁磁膜

之间的表面粗糙度反铁磁膜为 0.5nm 或以下，以促进在反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射的第二步骤。第一步骤包括一个溅射其主要成分为  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜的靶的步骤。

根据本发明另一方面，提供了一种制造磁阻效应器件的方法，该器件包括多层膜，该多层膜包括第一反铁磁膜、第一铁磁膜、第一非磁膜、第二铁磁膜、第二非磁膜、第三铁磁膜及第二反铁磁膜，它们以此顺序直接地或通过一下层设在非磁衬底上。该方法包括：在非磁衬底上直接地或通过一下层形成第一反铁磁膜的第一步骤；在反铁磁层上以其顺序沉积第一铁磁膜、第一非磁膜、第二铁磁膜、第二非磁膜、第三铁磁膜及第二反铁磁膜，以使得反铁磁膜和第一铁磁膜之间的表面粗糙度为 0.5nm 或以下，以促进在反铁磁膜和第一铁磁膜之间界面上的导通电子的镜面反射的第二步骤。第一步骤包括一个溅射其主要成分为  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜的靶的步骤。

因此，这里所述的本发明使下列优点成为可能：(1)提供了一种 MR 器件，它通过使用  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜膜或  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiO}$  分层膜可呈现大的 MR 率并由此能精确控制界面的表面粗糙度；(2)提供了制造这种 MR 器件的方法，及(3)提供了包括这种 MR 器件的 MR 头。

本发明的这些及另外优点，对于本领域的熟练技术人员业说，在阅读及理解了以下参数附图的详细说明后将会变得明白。

### **附图说明**

图 1A 是表示本发明 MR 器件结构的横截面图；

图 1B 是表示本发明 MR 器件结构的横截面图；

图 2A 是表示本发明 MR 器件结构的横截面图；

图 2B 是表示本发明 MR 器件结构的横截面图；

图 3 是表示本发明 MR 头结构的横截面图；

图 4 是表示本发明 MR 头的透视图；

图 5 是表示沿一磁盘的本发明 MR 头的横截面图；

图 6 是表示根据本发明的与一个记录头集成的 MR 头的横截面图；

图 7 是表示本发明的另一 MR 头的横截面图；

图 8 是表示制造本发明的 MR 头的流程图；

图 9 是表示制造本发明的 MR 器件部分的流程图；

图 10 是表示本发明的 MR 器件曲线的曲线图；

图 11 是表示其中使用  $\text{Co}_{1-x}\text{Fex}$  合金作为第一铁磁层的 MR 器件的组分依赖性的曲线图；

图 12 是表示本发明的 MR 器件曲线的曲线图。

图 13 是表示本发明另一 MR 器件曲线的曲线图；

图 14 是表示在本发明的 MR 器件中 MR 率、 $H_p$ 、 $H_c$  及  $H_d$  相对于  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜厚度(t)的曲线图；

图 15 是表示本发明的 MR 器件中 MR 率及  $H_p$  相对于热处理温度的曲线图。

### **最佳实施例描述**

现在将借助附图来描述本发明的 MR 器件及 MR 头。

图 1A、1B、2A 及 2B 表示本发明的 MR 器件。本发明的 MR 器件包括反铁磁膜 3，第一铁磁膜 4，非磁膜 5 及第二铁磁膜 6，它们以此顺序沉积在非磁衬底 1 上。在图 1A 及 1B 所示的示范例中，第一铁磁膜 4(引线层)经受业自反铁磁膜 3 的交换偏置磁场，因此具有一个固定的磁化方向。相反地，设在非磁膜 5 上的第二铁磁膜 6 的磁化方向可响应外部磁场的相对自由地变化。因此第二铁磁膜(自由层)6 的磁化方向及第一铁磁层(引线层)4 的磁化方向彼此相对地变化，由此改变了电阻(磁阻)。基于相同原理，MR 传感器可读出作为电信号的由外部磁场引起的电阻变化。

最好，反铁磁膜 3 是一种氧化物反铁磁膜如 NiO 膜、CoO 膜或  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜。最好是  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜。已经知道，在传统的金属反铁磁材料中，使用 NiO 的旋转阀膜的 MR 率大于使用金属反铁磁材料如 Fe-Mn 的旋转阀膜的 MR 率。对将作如下的解释。当使用了用 NiO 的旋转阀膜时，在

反铁磁膜 3 及第一铁磁膜(引线层)4 的界面上引起导电电子的镜面反射 (Physical Review B, Vol.53, P.9108 (1996-II))。为了在界面上引起镜面反射,反铁磁膜 3 及第一铁磁膜(引线层)4 之间的界面鉴于导电电子波长(若干埃)应足够平滑。本发明可以使界面的平滑度改善,并由能获得此传统中已实现的更大的由  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  旋转阀膜产生的 MR 率(日本公开文献 Nos. 8-279117 及 9-92904)。

当评价反铁磁膜和铁磁膜之间的平滑度时,最好能直接地评价反铁磁膜 3 的界面或表面的平滑度。另外,也可通过测量多层膜表面的平滑度来评价。在此情况下,虽然在整个区域上该表面应最好完全平滑,但也可具有高至几百埃的起伏,只要该表面能包括在一埃容差上的一个平滑区域就行。最好,约整个区域的 10%及更好约 20%应为仅具有约 0.5nm 或更小的起伏的平滑。

图 1A、1B、2A 及 2B 中所示的示范结构使用  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜。氧化物反铁磁膜与金属反铁磁膜、如 Fe-Mn 膜、Ni-Mn 膜、Pd-Mn 膜、Pt-Mn 膜、Ir-Mn 膜或 Fe-Ir 膜相比,其优点在于:通常氧化物反铁磁膜 3 具有更大的 MR 率。另一优点是,当 MR 器件被用作 MR 头时,包括屏蔽间隙材料(相应于图 6 中屏蔽间隙距离 d)在内的整个 MR 器件的厚度可以小些,因为氧化物反铁磁膜 3 是一种绝缘膜,因此可考虑作为下层绝缘膜(屏蔽间隙)的一部分。具有小屏蔽间隙距离 d 的 MR 头适合于未来期望的以非常高的记录密度进行高密度的记录。

如图 1A 所示,当  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜本单独使用时,但最好应具有至少约 5nm,但也可至约 40nm 或较小的厚度。

当  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜 3 与另外反铁磁膜(未示出)、如 NiO 膜或 CoO 膜一起形成层时,可以此  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜 3 本身单独使用时能更有效地对引线层 4 施加交换偏置磁场。由于形成层的膜厚度相等,该膜提供了诸如较大的交换偏置磁场及较大 MR 率的优点。由于形成层的膜 MR 特性相同,器件整个厚度可更小,故该膜更有利。

当  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜 3 在 NiO 膜、CoO 膜或类似膜上形成层时, 并当  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜的厚度在约 5nm 及约 40nm 之间的范围中时, 可对引线层 4(第一铁磁层)施加大的交换偏置磁场, 厚度范围更好为在约 10nm 及约 40nm 之间。在此情况下, NiO 或 CoO 膜的厚度优选在约 5nm 及 40nm 之间的范围中, 更好为在约 10nm 及约 30nm 之间的范围中。 $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜 3 的厚度应等于或大于 NiO 或 CoO 膜的厚度。

在形成层的反铁磁膜中, NiO 膜最好在  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜 3 的上面。虽然这种成层的反铁磁膜与  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜 3 置于 NiO 膜上面的反铁磁膜相比具有稍低的 MR 率, 但可提供更大的交换偏置磁场, 由此整个结构可以更薄。例如, 具有约 20nm 的总厚度, 就可提供足够的交换偏置磁场。在此情况下,  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜的厚度最好在 5nm 及约 30nm 之间的范围中, 及 NiO 膜的厚度最好在约 5nm 及约 20nm 之间的范围中。

也可有效地使用图 2A 中所示的间接交换耦合膜 50, 以便进一步增加对引线层 4 施加的偏置磁场(或进一步稳定引线层 4 的磁化方向)。通过在铁磁膜 51 及 53 之间插入一个合适的非磁膜 52 可获得间接交换耦合膜 50。例如, 通过设置厚度为约 0.7nm 的 Ru 膜作为非磁膜 52 及 Co 膜作为铁磁膜 51 及 53, 则在两个铁磁膜 51 及 53 之间有更强的间接交换相互作用, 由此稳定了引线层 4 的磁化方向。如果铁磁膜 53 的磁化方向进一步被反铁磁膜 3 固定, 可进一步稳定引线层 4 的磁化方向。

在图 2A 所示的结构中, 除了 Co 膜外, Co-Fe 膜、Ni-Fe-Co 膜或类似膜也可替代用作铁磁膜 51 及 53。铁磁膜 51 及 53 的厚度应至少约为 1nm, 并最好对约为 4nm 或较小。最好铁磁膜 51 及 53 的相应厚度彼此不相同, 并彼此至少相差约 0.5nm。除 Ru 膜外, Cu 膜、Ag 膜或类似膜也可替代用作非磁膜 52。最好, 非磁膜 52 的厚度在约 0.3nm 及约 1.2nm 之间的范围中。

可使用 Si、玻璃、蓝宝石、MgO 或类似物作为衬底 1 的材料。在 MR 头中, 典型使用  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TiC 衬底。

当使用  $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$  合金 ( $0 < x \leq 0.5$ , 其中  $x$  表示原子组分比) 作为第一及第二铁磁膜 4 和 6 时, 可获得较大的 MR 率。由于对于第二铁磁膜 6 重要的是具有软磁特性, 通常使用 Ni-Fe 合金、Ni-Fe-Co 合金或类似物作为其材料。作为第一铁磁膜 4, 最好使用  $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$  合金, 或类似物, 由此可增大 MR 率。尤其当使用 Cu 作为非磁膜时,  $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$  合金产生出依赖于旋转引起的大量散射, 由此增加了 MR 率。最好使用 Ni-Fe 膜、富 Ni 的 Ni-Fe-Co 膜或类似物作为与  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜了接触的膜并从它接收交换偏置磁场。因此, 最好在包括 Ni-Fe 膜、Ni-Fe-Co 膜或类似膜的层结构中, 在  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜 3 侧上设置第一铁磁膜 4, 及在非磁膜 5 侧设置 Co-Fe 膜或类似膜。当第一铁磁膜 4 的总厚度过小时, MR 率降低。另一方面, 当第一铁磁膜 4 的总厚度过大时, 交换偏置磁场下降。因此, 第一铁磁膜 4 的总厚度优选在约 2nm 及约 10nm 之间的范围中, 等于或小于 5nm 更好。

最好使用 Ni-Fe 合金、Ni-Co-Fe 合金或类似物作为第二铁磁膜 6 的材料。最好  $\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Fe}_z$  膜的原子组分比为:

$$0.6 \leq x \leq 0.9$$

$$0 \leq y \leq 0.4$$

$$0 \leq z \leq 0.3 (\text{由此获得富 Ni 的软磁膜}); \text{ 或}$$

$$0 \leq x \leq 0.4$$

$$0.2 \leq y \leq 0.95$$

$$0 \leq z \leq 0.5 (\text{由此获得富 Co 的膜})。$$

具有这种复合物的膜呈现出 MR 传感器或 MR 头所需的低磁致伸缩 ( $1 \times 10^{-5}$ )。非晶膜、如 Co-Mn-B 膜、Co-Fe-B 膜、Co-Nb-Zr 膜或 Co-Nb-B 膜可替代用作第二铁磁膜 6 的材料。

最好, 第二铁磁膜 6 的厚度在约 1nm 及约 10nm 之间的范围中。当第二铁磁膜 6 过厚时, 由于分路效率使 MR 率降低。当第二铁磁膜 6 过薄时, 软磁性能降低。最好是, 其厚度在约 2nm 及约 5nm 之间的范围中。

在第二铁磁膜 6 及非磁膜 5 之间的界面上也可有效地设置 Co-Fe 合

金膜作为界面磁膜(来示出)。当界面磁层过厚时, MR 率对磁场的敏感性降低。因此, 界面磁层的厚度优选为约 2nm 或更小, 更好为约 1nm 或更小。为了使界面磁膜有效地起作用, 它的厚度应至少约为 0.4nm。

虽然 Cu 膜、Ag 膜、Au 膜、Ru 膜或类似膜可用作非磁膜 5, 但 Cu 膜尤其优先。最好非磁膜 5 的厚度至少为 1.5nm, 及更好至少为 1.8nm, 以便能足够抑制磁膜 4 及 6 之间的相互作用。当非磁膜 5 过厚时, MR 率降低。因此该厚度优选为约 10nm 或更小, 并更好为约 3nm 或更小。

最好使用 Pt 膜、Au 膜或类似膜作为图 1B 中所示的下层 2。当  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜 3 形成在下层 2 上时, 改善了  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜 3 的结晶度, 并增大了施加于第一铁磁膜 4 的交换偏置磁场, 由此改善了 MR 特性。下层 2 具有使膜表面平滑的另一优点。因此, 反铁磁膜 3 及第一铁磁膜 4 之间的界面被平滑了, 并获得了镜面反射效应, 由此增大了 MR 率。下层 2 的厚度优选为至少约 1nm, 并更好为至少 10nm。当下层 2 过厚时, 产生量下降。因此, 下层 2 的厚度优选为约 50nm 或以下, 并更好为约 20nm 或以下。

虽然以上已描述了所谓的“单旋转阀膜”结构(其中仅具有一个引线层 4), 但本发明也能有效地使用“双旋转阀膜”结构(其中具有两个引线层)。“双旋转阀膜”结构的示范例表示在图 2B 中。参照图 2B, 该对旋转阀膜结构附加地包括在非磁膜 5A 上的第三铁磁膜 7 及反铁磁膜 8。在此结构中, 第三铁磁膜 7 可由与第一铁磁膜 4 相同的材料构成。但是, 反铁磁膜 8 最好不是如  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜或 NiO 膜那样的氧化膜。而可更优选地使用以下材料中一种的金属膜作为反铁磁膜 8: Fe-Mn、Ni-Mn、Pd-Mn、Pt-Mn、Ir-Mn、Cr-Al、Cr-Mn-Pt、Fe-Mn-Rh、Pd-Pt-Mn、Ru-Rh-Mn、Mn-Ru、Cr-Al 或类似物。这是因为, 当反铁磁膜设为上层时, 反铁磁膜为金属反铁磁膜时比氧化物膜的交换偏置更有效。在以上列出的材料中, Fe-Mn 最典型地用在传统的旋转阀膜中。但是, 鉴于防腐蚀, Fe-Mn 膜在本发明中不当优先, 而 In-Mn 膜尤为优先。最好 Ir<sub>z</sub>Mn<sub>1-z</sub> 膜的原子组分为:

$0.1 \leq z \leq 0.5$ 。

例如，层 1 至 8 可使用溅射方法、或溅射方法结合蒸气沉积方法来形成。溅射包括 DC 溅射法、RF 溅射法及离子束溅射法、等，所有这些可适用于产生本发明的 MR 器件。对于形成  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 或 NiO 膜，RF 膜溅射法尤为优先。

图 4 表示包括上述 MR 器件的本发明的 MR 头的示范结构。图 3 表示从图 4 中 A 方向所视的 MR 头的结构。图 5 表示沿图 4 中 B 所示平面所剖取的横截面图。在以下说明中，大部分参照图 3。

参照图 3，MR 器件部分 9 被夹在上和下屏蔽间隙 14 及 11 之间。可使用绝缘膜如 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜、SiO<sub>2</sub> 膜或类似膜作为屏蔽间隙。在屏蔽间隙 14 及 11 上述分别设有上及下屏蔽层 15 及 10。可使用软磁膜例如 Ni-Fe 合金膜作为屏蔽材料。为了控制 MR 器件的磁区域，用如 Co-Pt 合金材料作的硬偏置部分 12 施加偏置磁场。虽然在该例中使用硬膜来施加偏置磁场，但也可类似地使用如 Fe-Mn 膜这样的反铁磁膜。MR 器件部分 9 由屏蔽间隙 11 及 14 及屏蔽层 10 及 15 绝缘，MR 器件部分 9 的阻抗变化可通过引线部分 13 对其施加电流出读出。

因为 MR 头是一种只读头，它通常与用于写的感应头相组合。图 5 和 6 表示写头部分 41 及读出部分 32。图 6 表示如图 3 所示的相同结构并在其上设有附加的写头部分 31。写头部分 31 包括经过记录间隙膜 40 设在上屏蔽层 15 上面的上芯 16。

图 6 表示具有传统相邻接合的 MR 头，而图 7 表示具有上层结构的另一有效 MR 头，其中轨迹宽度 41 可更精确地控制。因此，图 7 中所示结构可更好地考虑用于由增大记录密度产生的轨迹宽度的下降。

现在将参照图 5 来描述 MR 头的记录和重播机制。参照图 5，在记录操作期间，由通过线圈 17 导通的电流产生的磁通被泄通到上芯 16 和下屏蔽层 15 之间的空间中，由此在磁盘 21 上写信息。头 30 以图中箭头 C 所指方向相对磁盘 21 移动，其中可通过使流过线圈 17 的电流反向来

使记录磁化方向 23 反向。当记录密度增大时，记录长度(记录节距)22 变短，由此必须相应减小记录间隙长度(记录间隙节距)19。

在重播操作中，从磁盘 21 的记录磁化部分泄漏出的磁通 24 作用在屏蔽层 10 和 15 之间的 MR 器件部分 9 上，由此改变了 MR 器件的阻抗。由于通过引线部分 13 将电流导入 MR 器件部分，它的阻抗变化可作为其(输出)电压的变化被读出。

现在参照图 8 来描述制造 MR 头的方法。

首先，在适当处理的衬底上形成如图 3 所示的下屏蔽层 10(S801)。然后，在下屏蔽层 10 上形成下间隙屏蔽层 11(S802)，在下间隙屏蔽层 11 上形成 MR 器件部分层(S803)。在 MR 器件部分层成型为 MR 器件部分 9 后，如图 3 中所示(S804)，形成硬偏置部分 12(S805)及引线部分 13(S806)。然后形成上屏蔽间隙 14(S807)及上屏蔽层 15(S808)。最后，形成写头部分 31，如图 6 中所示(S809)，由此获得一个 MR 头。

参照图 9，将更详细地描述形成 MR 器件部分 9 的步骤(S803)。通过将  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  靶溅射到非磁衬底 1 上形成反铁磁膜 3，如图 1A 中所示(S901)。然后，将第一铁磁膜 4、非磁膜 5 及第二铁磁膜以此顺序沉积到反铁磁膜 3 上，由此获得 MR 器件部分 9(S902)。

为了获得的图 2B 所示的 MR 器件，将非磁膜 5A、第三铁磁膜 7 及反铁磁膜 8 以此顺序沉积到第二铁磁膜 6 上，由此获得 MR 器件部分。

为了进一步增加硬盘驱动器的记录密度，应缩短记录长度(记录节距)，为此必须缩短如图 3 中所示的屏蔽层之间的距离 d(图 5 中由标号 18 表示)。如从图 3 中可见到的，必须减小 MR 器件部分 9 的厚度。最好，MR 器件部分 9 的厚度不包括反铁磁膜在内应为约 20nm 或以下。用于本发明的反铁磁  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜为绝缘膜。因此，如果将反铁磁  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜设为绝缘膜的一部分(例如作为图 3 中间隙屏蔽层 11 的一部分)，它的厚度较不受限制。但是，当将反铁磁  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜设为 MR 器件部分 9 的一部分时，它应尽可能地薄。反铁磁  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜的厚度应优选为约 40nm 或以下，

并最好为约 20nm 或更小。

如图 1A、1B、2A 及 2B 中所示，在 MR 器件部分中，第二铁磁膜(自由层)6 的易磁化轴(也称为“易磁化轴”)最好布置成基本垂直于被检测信号磁场的方向上，以例抑制软磁膜磁化转换期间巴克好森噪音的产生。

现在将借助于图示例子来描述本发明的 MR 器件及 MR 头。

### 实施例 1

在实施例 1 中，使用具有作为靶的  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜、Co、Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>、Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>、Cu 及 Fe<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub> 的溅射装置来制造具有如图 1A 中所示结构的玻璃衬底上的各个 MR 器件。在真空室被抽到约  $1 \times 10^{-8}$  Torr 时，将 Ar 气体加入其中，以便在使用溅射法在衬底上形成结构时将其中压力保持在约 0.8mTorr 上。Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub> 合金被用作第一铁磁膜 4，及 Cu 被用作非磁膜 5。使用包括 Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub> 及 Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub> 的金属结构作为第二铁磁膜 6。在第二铁磁膜 6 上形成另一 Cu 层作为保护层。

四个不同的样品器件 A1-A4 被制造出来。用于形成每个样品 A1-A4 各层的相应材料及厚度表示如下(厚度以 nm 表示在括号中)。样品器件 A3 用 Fe-Mn 反铁磁膜制造，它作为使用传统 Fe-Mn 合金的比较器件。由于反铁磁膜 3 必须在形成引线层 4 后形成，首先形成自由层(与使用  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 时的次序相反)。当使用  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜时使用 RF 方法，而当使用其它任何材料时使用 DC 方法。

A1:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(50) / Co<sub>0.86</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Cu(2) / Co<sub>0.45</sub>Fe<sub>0.15</sub>(1) / Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>(2) / Cu(0.4)

A2:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(50) / Co(2) / Cu(2) / Co(1) / Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>(2) / Cu(0.4)

A3: Ni<sub>0.88</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(1) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) Fe<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>(10) / Cu(0.4)

A4:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(50) / Ni<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.20</sub>(1) Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(1) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(1) / Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>(2) / Cu(0.4)

每个生成膜的组成接近靶材料的原始组分。例如，当  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 具有

Fe/O=1/1.5 的原始组分时，分析表明生成的  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜具有 Fe/O=1/1.45 的组分。

组份比不是精确地为 1/1.5。当使用  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 作为靶时，甚至当制造条件如溅射压力有些变化时也能获得优良的  $\alpha$ R 特性。因此，只要 Fe/O 的组份在从约 1/1.35 至约 1/1.55 之间本发明均能有效。

在室温下使用 DC 4-终端方法施加高至约 40KA/m(500Oe)的磁场对制成的 MR 器件(样品 A1)的特性进行了评价。

由样品 A1 获得的 MR 曲线 91 表示在图 10 中。在图 10 中，水平轴代表施加磁场及垂直轴代表 MR 率，MR 率是在施加的参考值为 40KA/m 的磁场下测量阻抗的阻抗变化率(%)。图 10 总地表示在沿 MR 曲线 91 上的点(a)、(b)及(c)处的引线层(第一铁磁层 4)及自由层(第二铁磁层 6)的相应磁化方法。图 10 表示本发明的 MR 器件呈现非常大的 MR 率。

当施加了约-40KA/m 的磁场时，引线层 4 及自由层 6 具有实质上相同的方向(点(a))。当磁场逐渐地增大并超过值“0”时，第二铁磁膜 6(自由层)的磁化方向反向，然后 MR 率急速地增大到点(b)。当进一步增大施加的正磁场时，引线层 4 的磁化方向也反向，由此 MR 率向着点(c)减小。参照图 10，交换偏置磁场“HP”被定义为：当 MR 率在通过峰值(点(b))后变成其峰值的一半时所施加的磁场的幅值。该值 HP 用于计算  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜的交换偏置磁场。典型地，较大的交换偏置磁场指示引线层 4 更稳定的磁化方向(因此对于 MR 器件更稳定)。下列表 1 表示如上述测量的样品 A1-A4 的 MR 率为 HP 值。

表 1:

样品	MR 率(%)	Hp(kA/m)
A1	16.5	13
A2	10.2	15
A3	5.2	18
A4	15.8	25

表 1 的说明如下。使用  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的样品 MR 器件 A1 呈现出比使用传统 Fe-Mn 合金的样品器件 A3 更大的磁阻变化。使用 Co-Fe 合金的每种 MR 器件 A1、A2、A4 比使用 Co 的器件 A3 呈现出更大的 MR 率。在第一磁层设有包括 Ni-Fe 层及 Co-Fe 层的双层结构的样品器件 A4 中，交换偏置磁场显著地大(接近 A1 的两倍)，而它的 MR 率未显著地变化。可以看到，样品器件 A4 对外部磁场更稳定。

使用如下所示的材料及厚度制造出另一样品器件 A5，对它的 MR 特性进行了计算，以便确定 Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>(引线)层的组合依赖性(X: 原子组分比)。

A5:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(60)/Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>(2)/Cu(3)/Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(5)/Cu(0.4)

图 11 表示样品器件 A5 的 MR 率的组分依赖性。可以看出，MR 率实质上依赖 Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub> 组分比而复化。在  $0 < x \leq 0.5$  的范围中，MR 率表示急剧上升。

其次，分别使用样品器件 A1(本发明)，A2 及 A3(比较例)制出了如图 3 中所示的 MR 头，并对它们的特性进行了评价。在每个制出的 MR 头中，使用 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC 材料作为衬底，Ni<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.2</sub> 合金作为屏蔽层 10 及 15，及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 作为屏蔽间隙 11 及 14。此外，使用 Co-Pt 合金作为硬偏置部分，及 Au 作为引线部分 13。磁膜被各向异性地这样设置，即使得引线层(第一铁磁膜 4)的易磁化轴实质上平行于待测信号磁场的方向，由此使自由层(第二铁磁膜 6)的易磁化轴实质上垂直于待测信号磁场的方向。磁膜沉积是使用永久磁铁，因此在膜平面中以所需各向异性方向对膜施加磁场。对磁阻头施加的 50Oe 的交变信号磁场，未对制成的磁阻头各自的输出求值。使用本发明的 MR 器件 A1 的 MR 头的输出约比使用比较 MR 器件 A2 及 A3 的 MR 头的输出分别高出约 50%及约 100%。

### 实施例 2

以与实施例 1 中相同方式制造各具有如图 1B 中所示结构如下列样品 MR 器件 B1-B3。

B1: Pt(10) /  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(40) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Cu(2.1) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(1) /

$\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5) / \text{Cu}(0.4)$

B2:  $\text{Al}(10) / \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(40) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(2) / \text{Cu}(2.1) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) /$

$\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5) / \text{Cu}(0.4)$

B3:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(40) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(2) / \text{Cu}(2.1) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5) /$

$\text{Cu}(0.4)$

制成的样品器件 B1-B3 接收与例 1 中相同的求值。其结果表示在以下表 2 中。

表 2:

样品	MR 率(%)	Hp(kA/m)
B1	15.1	37
B2	12.2	29
B3	10.6	9

表 2 的说明如下。通过使用 Pt 或 Au 下层(B1、B2)，甚至当  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  层相对薄时也能获得大的交换偏置磁场 Hp。当无下层及相对薄的  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  层(B3)时，交换偏置磁场不能有效起作用并变得很弱。在此情况下，不能完全获得引线层 4 及自由层 6 之间的逆车行，由此降低了 MR 率。

### 实施例 3

以与实施例 1 中相同方式并使用分层氧化物结构作为反铁磁层制造各具有如图 1A 中所示结构的下列样品 MR 器件 C1-C12。当 NiO 或 CoO 膜被使用时使用了 RF 方法。

C1:  $\text{NiO}(10) / \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(30) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5) / \text{Cu}(2)$

C2:  $\text{NiO}(10) / \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(20) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5) / \text{Cu}(2)$

C3:  $\text{NiO}(10) / \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(10) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5) / \text{Cu}(2)$

C4:  $\text{CoO}(10) / \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(30) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5)$

/ Cu(2)

C5:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(30) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5) / \text{Cu}(2)$ C6:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(40) / \text{NiO}(10) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5)$ 

/ Cu(2)

C7:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(30) / \text{NiO}(10) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5)$ 

/ Cu(2)

C8:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(20) / \text{NiO}(10) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5)$ 

/ Cu(2)

C9:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(10) / \text{NiO}(10) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5)$ 

/ Cu(2)

C10:  $\text{NiO}(40) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5) / \text{Cu}(2)$ C11:  $\text{NiO}(10) / \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(8) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5)$ 

/ Cu(2)

C12:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(40) / \text{NiO}(4) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2.5) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5)$ 

/ Cu(2)

制成的样品器件 C1-C12 接收与例 1 中相同的求值。其结果表示在以下表 3 中。

表 3:

样品	MR 率(%)	Hp(kA/m)
C1	12.1	20
C2	12.3	18
C3	12.1	15
C4	9.9	10
C5	1.8	7
C6	11.2	大于 40
C7	11.5	39
C8	11.1	35

C9	11.3	20
C10	9.4	9
C11	6.7	11
C12	3.1	8

如从表 3 中清楚地看到的, 使用分层氧化物反铁磁结构的本发明每个 MR 器件 C1-C4 及 C6-C9 呈现出比使用传统单层反铁磁结构的 MR 器件 C5 更大的 MR 率。可以确信对此的理由如下。在样品器件 C5 中, 对第一铁磁层的交换偏置磁场弱, 由此不能实现足够的磁化逆平行度, 从而减少了 MR 率。另一方面, 当设置了分层反铁磁结构时, 可对铁磁层施加足够的交换偏置磁场, 因此可实现足够的磁化逆平行度。

以下将说明样品器件 C1-C3 与样品器件 C6-C9 之间的比较。每个样品器件 C1-C3 中 NiO 层在形成  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 层以前形成, 这些器件趋于具有大 MR 率及稍低的 H<sub>p</sub> 值。另一方面, 每个样品装置 C6-C9 中  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 层在形成 NiO 层以前形成, 这些样品趋于具有稍低的 MR 率及较大的 H<sub>p</sub> 值。使用  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/NiO 分层反铁磁结构的每个样品器件 C6-C9 比使用 NiO 单层反铁磁结构的样品器件 C10 呈现较大的 MR 率及更大的交换偏置磁场 H<sub>p</sub>。

此外, 本例中的样品器件 C1-C3 与比较例的样品器件之间的比较表明: 当在沉积  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜前沉积 NiO 膜时, 最好设置其厚度实质上等于或大于 NiO 膜厚度的  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜。

此外, 样品器件 C6 和样品器件 C12 之间的比较表明: 当在沉积 NiO 膜前沉积  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜时, 最好设置其厚度至少约 5nm 的 NiO 膜。

#### 实施例 4

以与实施例 1 中相同方式制造出各具有如图 2 中所示结构的下列样品 MR 器件 D1-D6。

D1:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(60) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>(5) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Ir<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.8</sub>(8)

D2: NiO(10) /  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(30) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>(5) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Ir<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.8</sub>(8)

D3:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(20) / NiO(10) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>(5) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Ir<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.8</sub>(8)

D4:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(60) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>(5) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / FeMn(8)

D5:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(60) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>(5) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) /  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(60)

D6: Ir<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.8</sub>(8) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Ni<sub>0.68</sub>Fe<sub>0.20</sub>Co<sub>0.12</sub>(5) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(0.4) / Cu(2) / Co<sub>0.85</sub>Fe<sub>0.15</sub>(2) / Ir<sub>0.2</sub>Mn<sub>0.8</sub>(8)

图 12 表示以与例 1 中相同方式测量的样品器件 D1 的 MR 曲线。可以看到, 样品器件 D1 具有非常高的 MR 率及足够的偏置磁场。测量的各个样品器件 D1-D6 的 MR 率表示在以下表 4 中。

表 4:

样品	MR 率(%)
D1	24.3
D2	25.1
D3	21.5
D4	14.2
D5	20.5
D6	7.8

如表 4 中所示, 虽然本例的每个样品器件 D2 及 D3 的 MR 率大致与样品器件 D1 的相同, 但该 MR 率可用较小厚度实现, 这是由于分层的反铁磁结构。本例中各样品器件 D2 及 D3 的 MR 率大于比较例样品器件 D4-D6 的 MR 率。还可看出, 样品器件 D4(它使用 Fe-Mn 材料作为第二反铁磁膜)及样品器件 D6(它均使用 Ir-Mn 材料作第一及第二反铁磁膜)各具有低 MR 率。样品器件 D5(它的使用  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 材料作第一及第二反铁磁

膜)具有大 MR 率, 但交换偏置磁场  $H_p$  仅约样品器件 D1 的一半。这是因为用作反铁磁膜的  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  膜仅具有弱的阻塞效应。因此, 最好使用金属反铁磁膜如 Ir-Mn 膜作为第二反铁磁膜。

### 实施例 5

在此例中, 使用预先用离子束在不同状态下处理的玻璃衬底表面的不同表面粗糙度制造出多个样品器件 E。这些样品器件是以与例 1 中相同方式制造的。

E:  $\text{Au}(20) / \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(20) / \text{Co}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}(2) / \text{Cu}(2) / \text{Ni}_{0.68}\text{Fe}_{0.20}\text{Co}_{0.12}(3)$

下面的表表示制成的样品器件的各个表面粗糙度及 MR 率。使用 STM(扫描隧道显微镜)对表面粗糙度计值。在每个样品器件的  $10\text{mm} \times 10\text{mm}$  表面上随意地选择十个  $10\text{nm} \times 10\text{nm}$  的面积。每个面积的表面粗糙度被确定为其中最高点及最低点之间的高度差。将十个面积的表面粗糙度值平均以获得该样品器件的表面粗糙度。

表 5:

表面粗糙度(nm)	MR 率(%)
0.38	13.3
0.45	12.9
0.52	8.6
0.68	4.3
1.22	2.7

表 5 表明当表面粗糙度为约 0.5nm 或更小时, 器件呈现大的 MR 率。

### 实施例 6

制造出以下的样品器件 F。使用 Si 衬底作为衬底, 及将衬底制备处理室抽到约  $2 \times 10^{-6}$ Torr 或更低, 此后将 Ar 气体导入制备室中, 直到其中压力为约  $4.5 \times 10^{-4}$ Torr 为止。然后使用 ECR 离子源及约 100V 的加速电压对衬底表面清洁约 20 分钟。接着, 将生成的衬底传送到沉积室中, 该室与制备室相通, 并用与实施例 1 中相同方式制造样品器件 F。

F:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(t) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2) / \text{Co}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}(1) / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5) / \text{Ta}(3)$

图 13 表示样品器件 F 的 MR 曲线, 其中  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜的厚度(t)为  $t=10$ 。施加约 6KA/m 的弱磁场测量 MR 曲线, 其中当引线层 4 的磁化方向固定时仅由于自由层 6 的磁化方向反向可观察 MR 率的变化。在图 13 中,  $H_c$  表示相应于磁化曲线矫顽力的值, 及“ $H_d$ ”表示 MR 曲线中心及零磁场之间的位移。关于 MR 器件的操作, MR 曲线表明, 由于值  $H_c$  及  $H_d$  小, 接近零磁场的磁阻变化大, 这说明该 MR 器件是具有高灵敏度的理想器件。

图 14 表示样品器件 F 的 MR 率、 $H_p$ 、 $H_d$  及  $H_c$  相对  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜厚度(t)的关系。参照图 14, 当  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜厚度(t)在此范围中变化时 MR 率无显著改变。值  $H_p$  随着  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜厚度(t)的增加而增加。虽然当  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  层薄时这可能是一个问题, 但通过在约 40KA/m 的磁场中在约 300°C 下处理样品器件可使  $H_p$  保持在约 40KA/m 或更大(这也可从下面例 7 中得知)。因此,  $H_p$  不是一个严重的问题。值  $H_c$  或  $H_d$  随着  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜厚度(t)的减少而减少。

因此, 由图 14 可以看到, 本发明的 MR 器件(其中  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜厚度(t)在约 10nm 及约 40nm 这间的范围中)最适用于作为高灵敏度 MR 器件, 它比传统器件(其中  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜厚度(t)为约 50nm 或更厚)有更高的磁场灵敏度。

### 实施例 7

以与实施例 1 相同的方式在玻璃衬底上制造出样品 MR 器件 G。

G:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(t) / \text{Co}(2) / \text{Cu}(2) / \text{Co}(5) / \text{Cu}(0.4)$

使该样品器件 G 在约  $10^{-5}$ Torr 或更低的真空中及对其施加约 40kA/m 的磁场的情况下接收约 30 分钟的热处理。

图 15 表示由在热处理后测量的 MR 曲线获得的 MR 率及值  $H_p$ 。在 300°C 下热处理后, 一个样品器件 G(其中  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  膜厚度(t)为约 50nm)的 MR 率比热处理前的 MR 率(在图 15 中约 25°C 时)下降约 30%, 而另一样

品器件 G 的 MR 率(其中  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜厚度(t)约为 30nm)比热处理前下降约 10%。当  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜厚度(t)约为 10nm 时, 在热处理前 MR 率相对地低, 但由于器件经受热处理它增加了。在约 300°C 热处理后, (t)=约 10nm 的样品器件 G 及(t)=约 30nm 的样品器件 G 具有较大的 MR 率, 因此有较大的热稳定性。

在以上说明中, 热处理进行约 30 分钟。但是, 为了制造实际的 MR 头, 需要较长时间的热处理。在进行了 3 小时热处理后, (t)=约 50nm 的样品器件 G 的 MR 率下降约 70%, 而(t)=约 10nm 及(t)=约 30nm 的样品器件 G 的 MR 率仅下降约 20%或更少。因此, 鉴于 MR 器件的 MR 率,  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜的厚度最好在约 10nm 及约 40nm 之间的范围中。

在图 15 中, 由于 MR 率是用约 40KA/m 的磁场进行测量的, 图 15 中值 Hp 约为 40KA/m 表示值 Hp 真正等于或高于 40KA/m。如图 15 中所示, 在 300°C 下热处理后, Hp 值超过约 40KA/m。因此, 这表明, 在使样品器件 G 接收 300°C 下的热处理后可获得实际足够的 Hp 值。

### 实施例 8

以与实施例 6 中相同方式制造出以下样品 MR 器件 H1-H3。样品器件 H2 具有如图 2A 中所示的间接交换耦合膜。

H1:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(20) / Co(2) / Cu(2) / Co<sub>0.90</sub>Fe<sub>0.10</sub>(1) / Ni<sub>0.6</sub>Fe<sub>0.20</sub>(5) / Ta(5)

H2:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(20) / Co(1) / Ru(0.7) / Co(2) / Cu(2) / Co<sub>0.90</sub>Fe<sub>0.10</sub>(1) / Ni<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.20</sub>(5) / Ta(5)

H3: NiO(20) / Co(1) / Ru(0.7) / Co(2) / Cu(2) / Co<sub>0.90</sub>Fe<sub>0.10</sub>(1) / Ni<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.20</sub>(5) / Ta(5)

以与实施例 1 相同的方式对制成样品器件 H1-H3 的 MR 变化进行求值。其结果表示在以下的表 6 中。

表 6:

样品	MR 率(%)	Hp(kA/m)
H1	12.5	9.2

H2	8.4	105
H3	8.2	108

如上所示，本实施例的样品器件 H2 与没有间接交换耦合膜的样品器件 H1 相比较具有下降的 MR 率但更大的偏置磁场  $H_p$ 。因此，可以看出，样品器件 H2 是一种具有稳定工作的 MR 器件。

比较样品器件 H3 使用 NiO 作为反铁磁膜的材料。样品器件 H3 在室温下呈现实质上与样品器件 H1 相同的特性。但是，在约 200°C 时，样品器件 H3 在 MR 率上呈现约 2.2% 的极弱的性能及值  $H_p$  为约 5KA/m，而样品率 H2 呈现约 7.1% 的 MR 率及值  $H_p$  约为 52KA/m。

虽然使用了 Co 作磁层 51 及 53，它们在上面各实施例中用作间接交换耦合膜，但也可变换地使用 Co-Fe 合金，Co-Ni-Fe 合金或类似物来代替 Co。在此情况下，每个磁膜的厚度应最好在约 1nm 及约 4nm 之间的范围中。此外，铁磁膜 51 及 53 的相应厚度应彼此至少相差约 0.5nm。

虽然 Cu、Ru、Ag 或类似元素可用作间接交换耦合膜 50 中的非磁膜 52，但 Ru 最为优先。非磁膜 52 的厚度最好在约 0.3nm 及约 1.2nm 之间的范围中。

此外，当铁磁膜 4 及 7 之一为图 2B 所示结构中的间接交换耦合膜时，可获得更大的偏置磁场。各具有基本上与图 2B 所示相同结构的下列样品膜 H4 及 H5 被制造出来。

H4:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(20)$  / Co(2) / Cu(2) /  $\text{Co}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}(1)$  /  $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5)$  /  $\text{Co}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}(1)$  / Cu(2) / Co(2) /  $\text{Pt}_{0.50}\text{Mn}_{0.50}(25)$  / Ta(6)

H5:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3(20)$  / Co(2) / Ru(0.7) / Co(3) / Cu(2) /  $\text{Co}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}(1)$  /  $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.20}(5)$  /  $\text{Co}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}(1)$  / Cu(2) / Co(2) /  $\text{Pt}_{0.50}\text{Mn}_{0.50}(25)$  / Ta(5)

表 7:

样品	MR 率(%)	$H_p(\text{kA/m})$
H4	22.3	18
H5	19.5	75

如表 7 中所示，当使用间接交换耦合膜(Co/Ru/Co 膜时，可以制造具有大  $H_p$  的膜，但 MR 率比使用单 Co 层时小。

在该实施例中，间接交换耦合膜被用作图 2B 结构中的铁磁膜 4。另外方式是，间接交换耦合膜可用作铁磁膜 7，或间接交换耦合膜可作各个铁磁膜 4。

如上所述，根据本发明，使用了  $\alpha$ - $Fe_2O_3$  膜或  $\alpha$ - $Fe_2O_3/NiO$  分层膜来精确地控制界面的表面粗糙度，由此可以实现具有大 MR 率的 MR 器件。

对于本领域熟练技术人员来说在不偏离本发明的范围和精神的情况下，虽然可容易地作出各种另外的变型。因此，并不意味，附属权利要求书的范围被限制在以上作出的说明上，而该权利要求书应有较宽的限制。

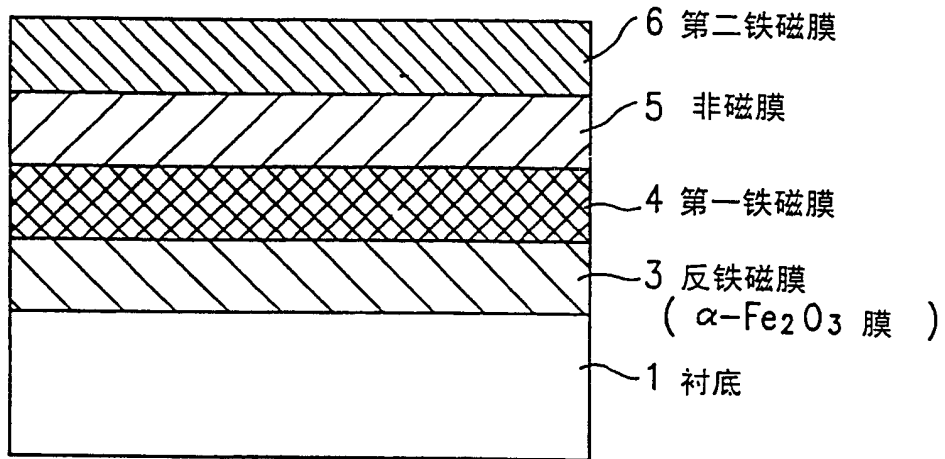


图1A

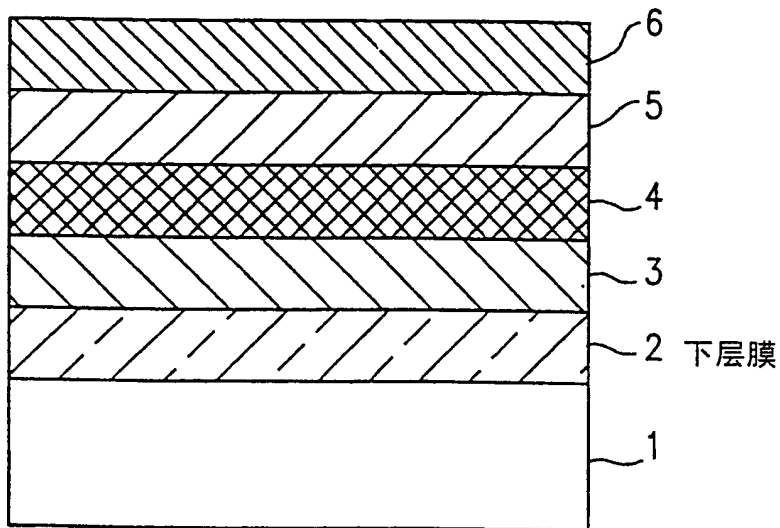


图1B

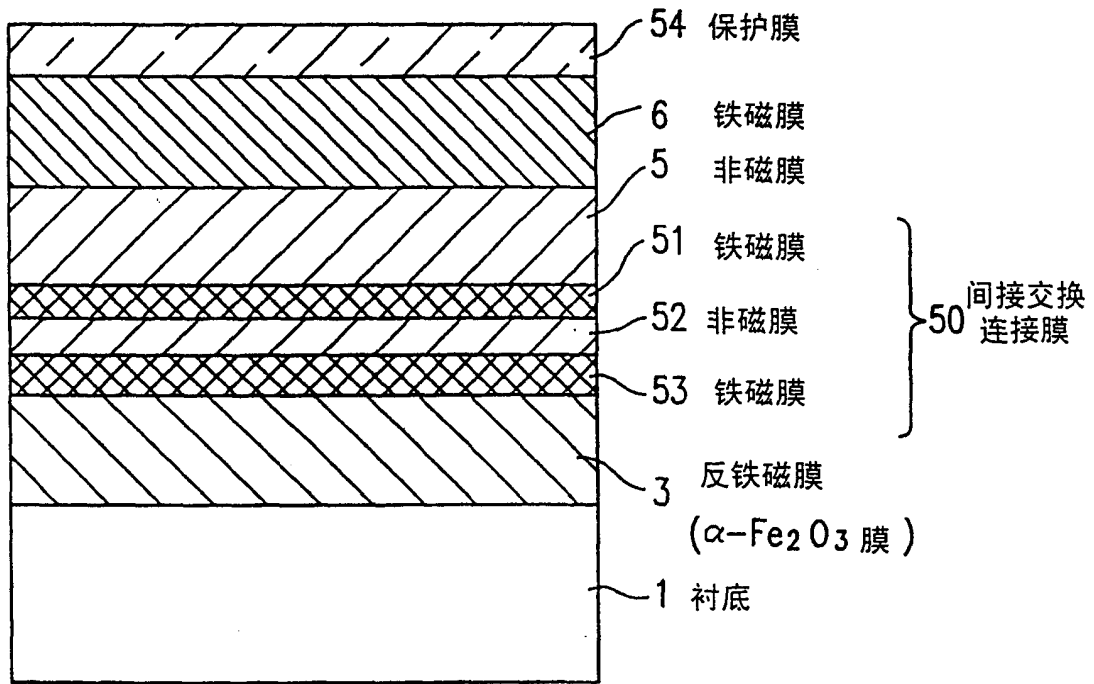


图2A

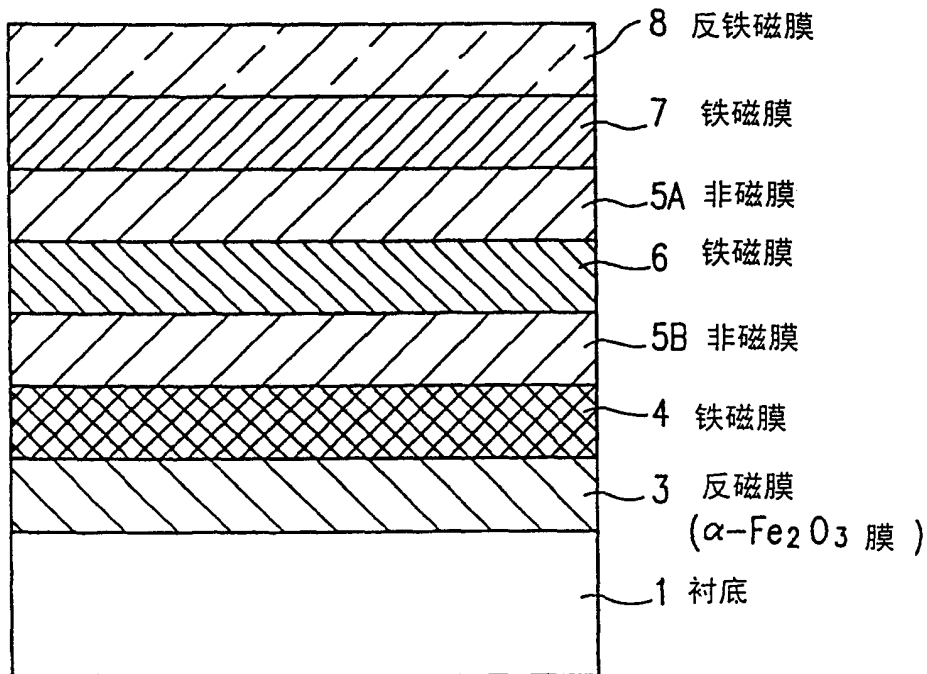


图2B

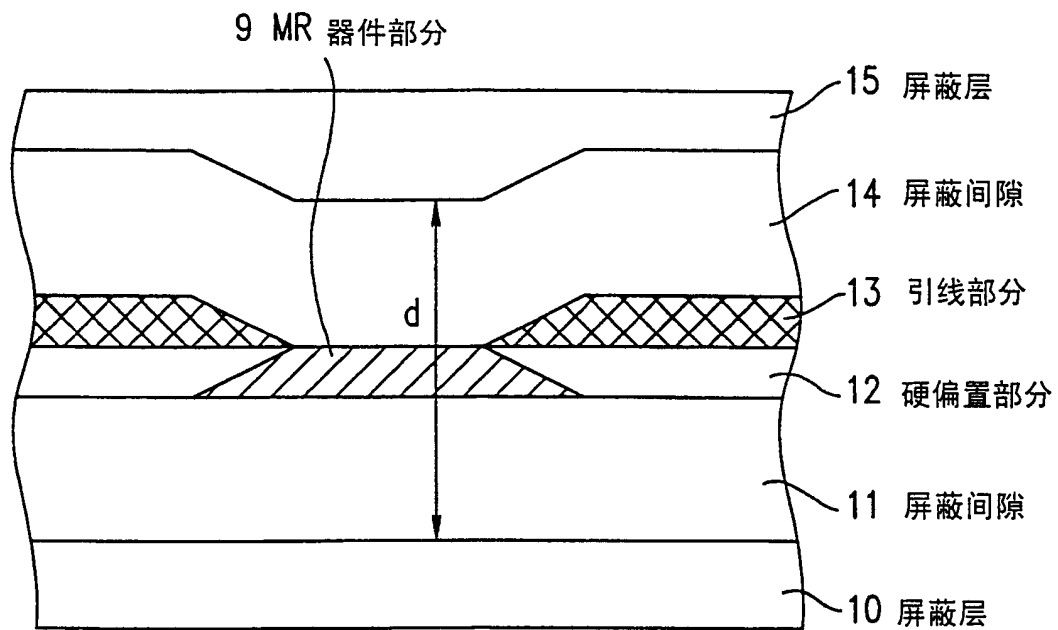


图3

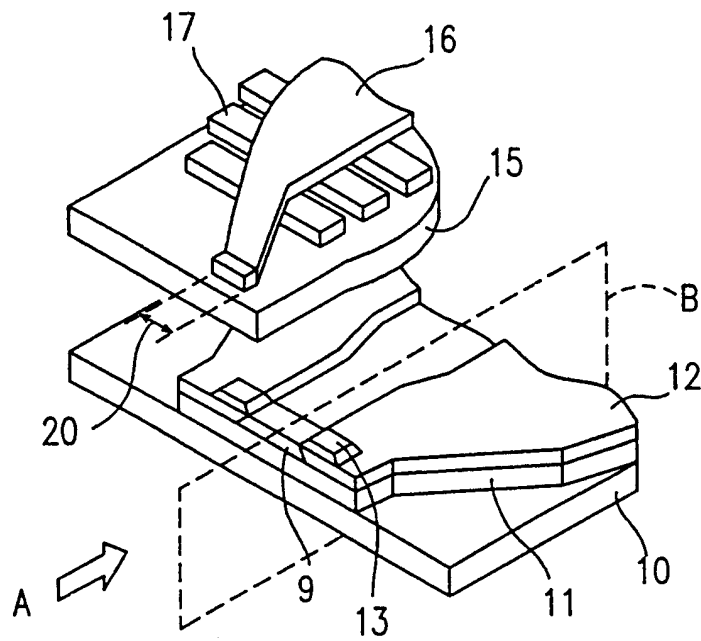


图4

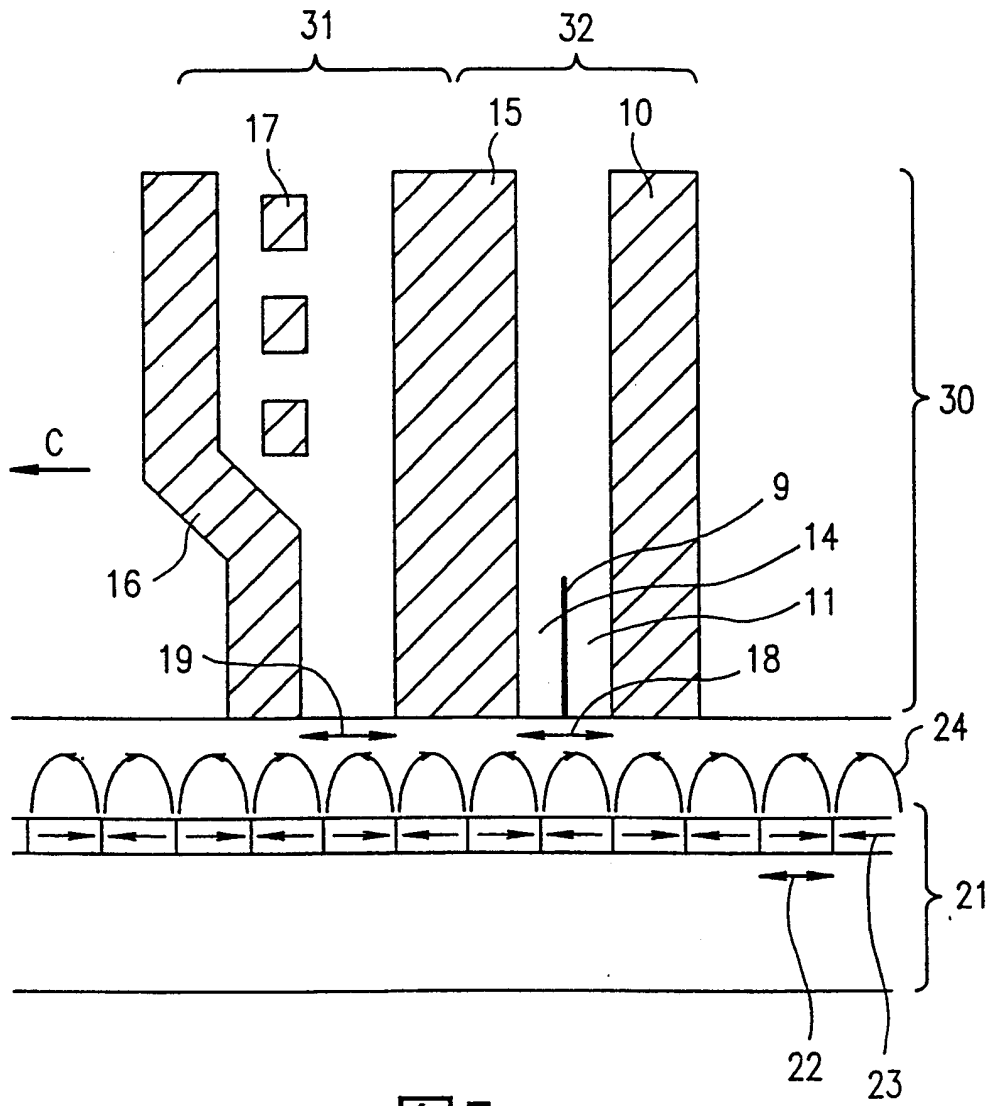


图5

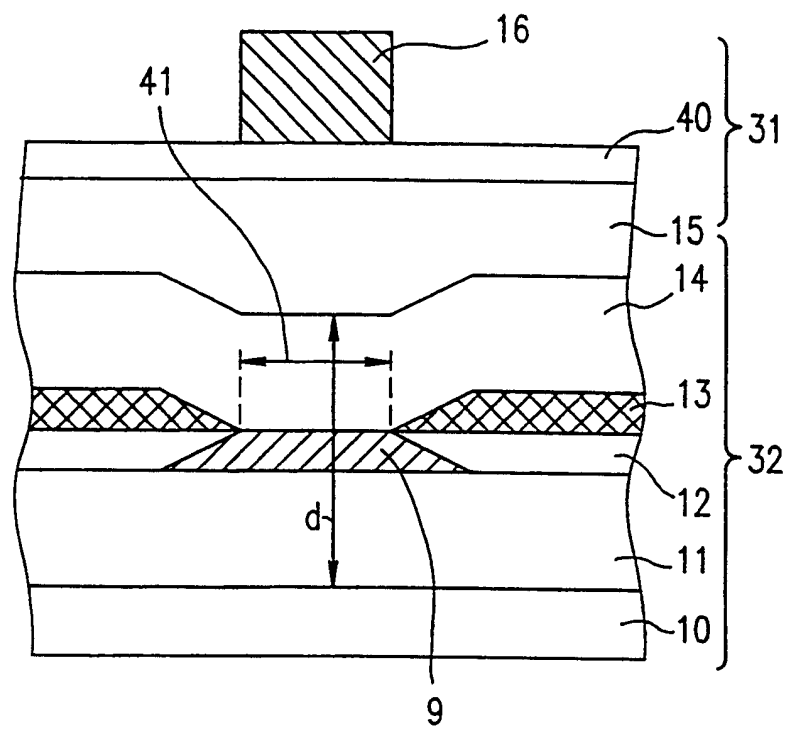


图6

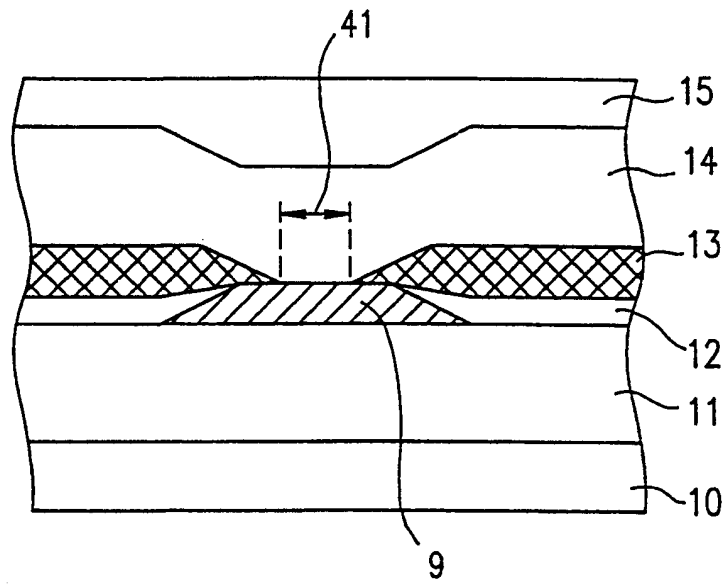


图7

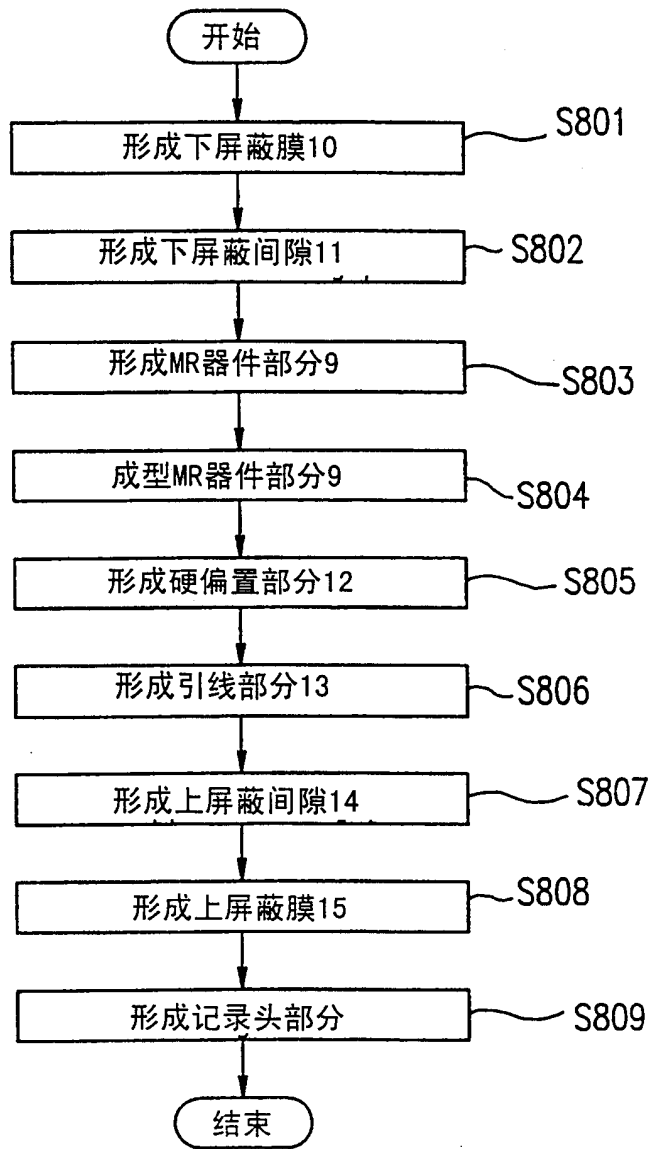


图8

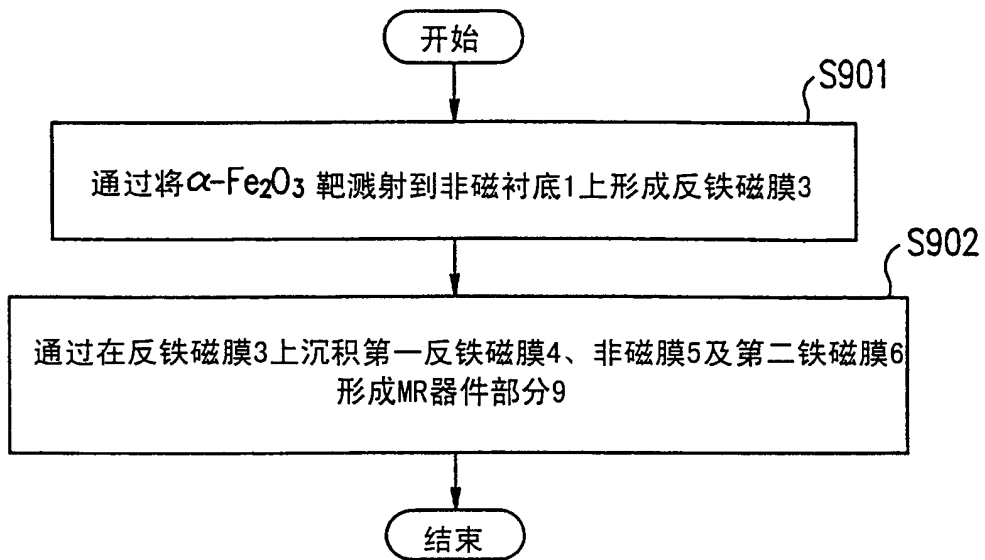


图9

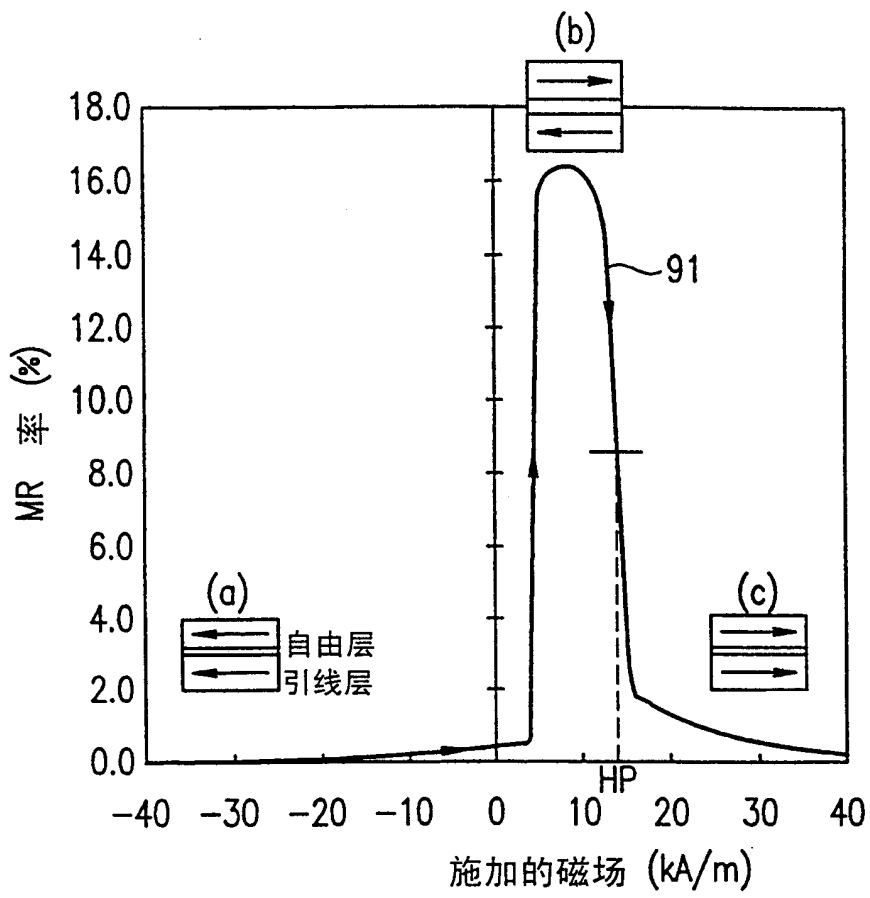


图10

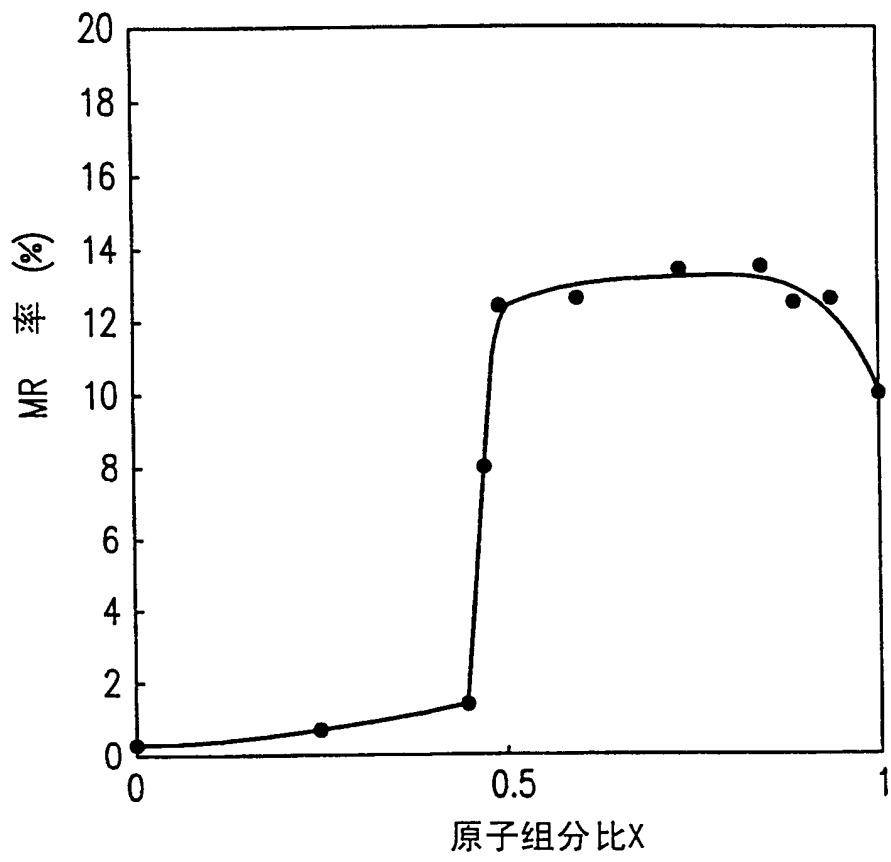


图11

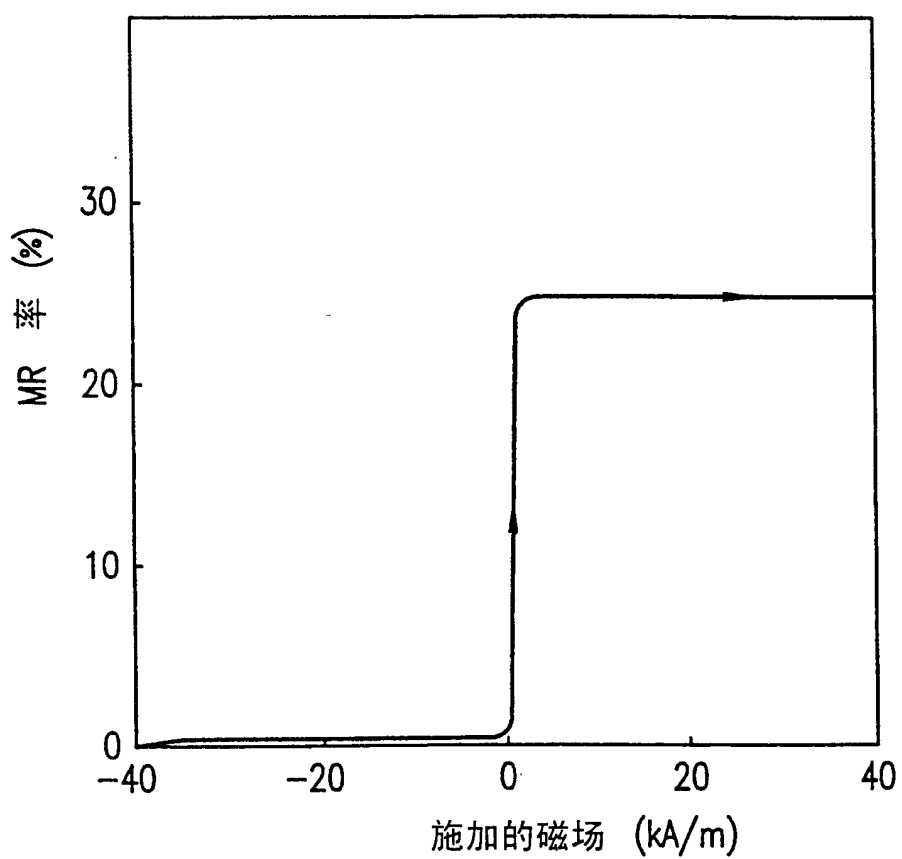


图12

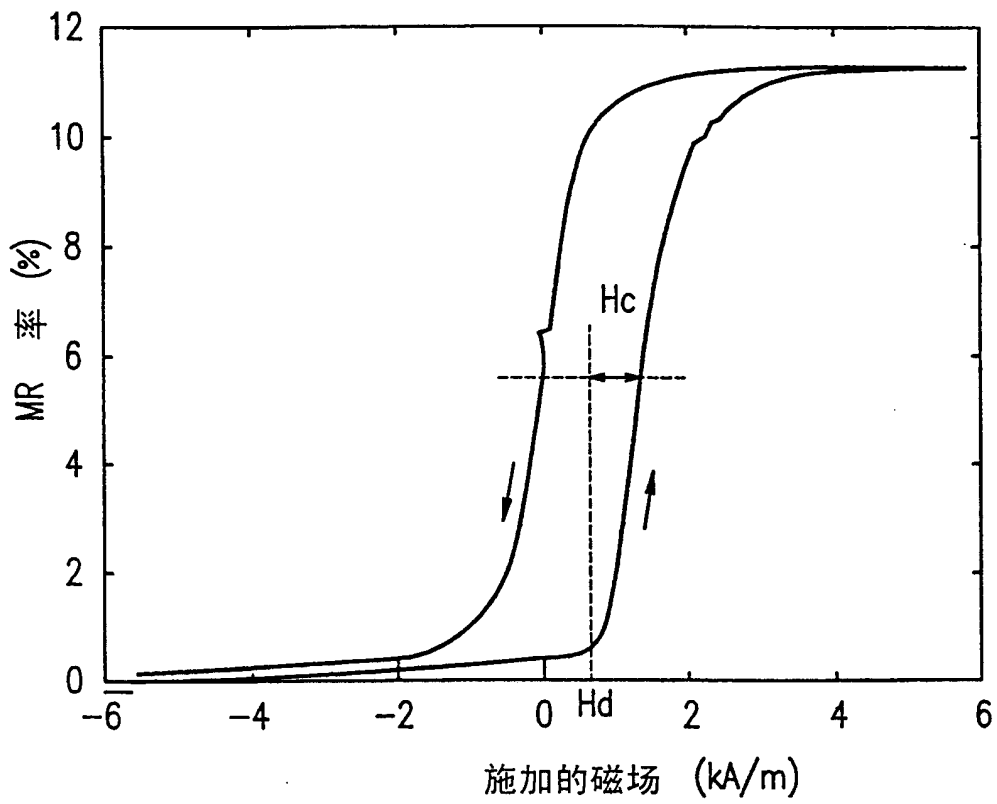


图13

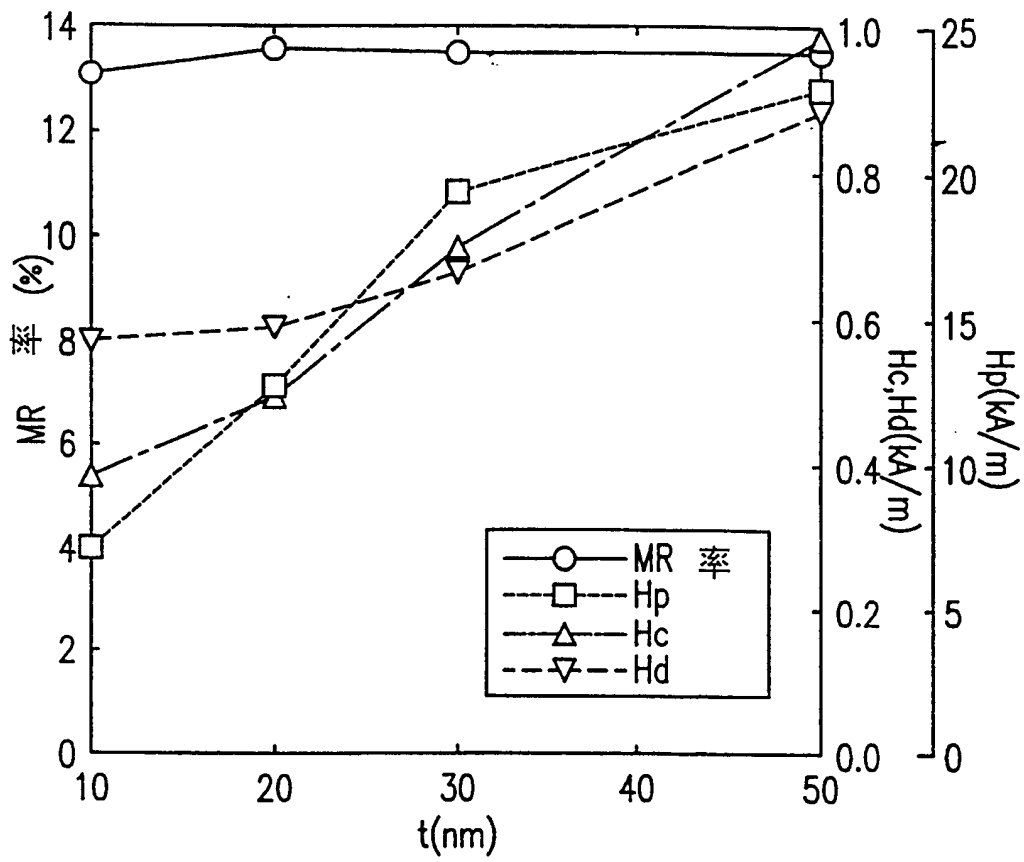


图14

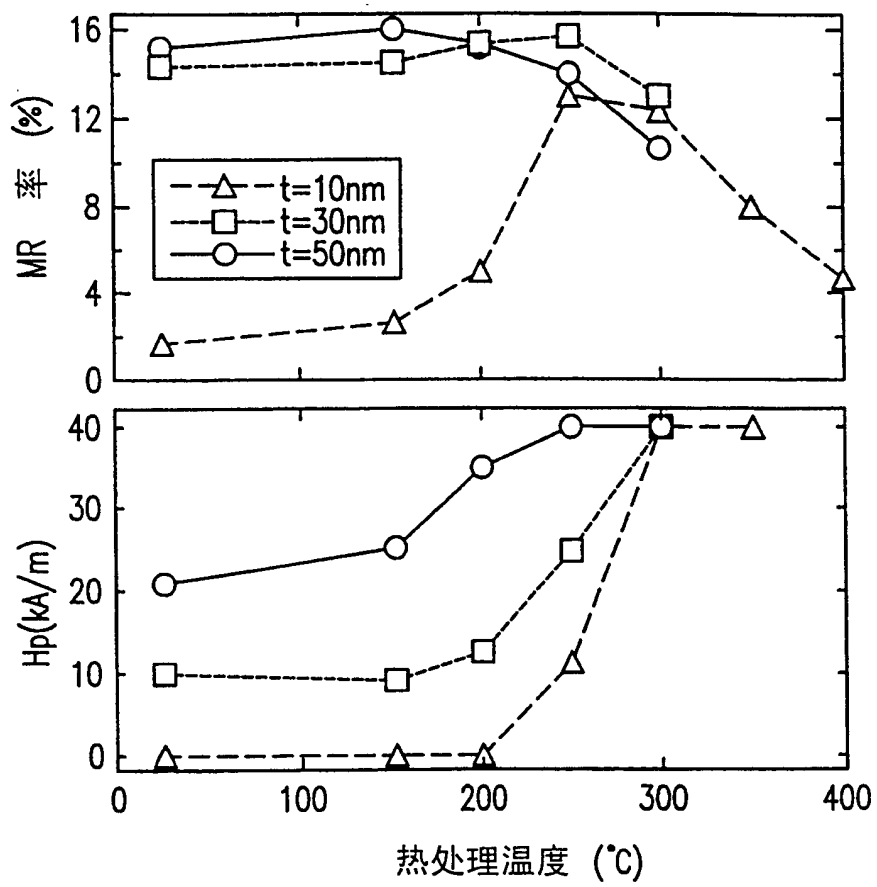


图15