



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97126174.1

[45] 授权公告日 2004 年 3 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 1142541C

[22] 申请日 1997. 11. 28 [21] 申请号 97126174. 1

[30] 优先权

[32] 1996. 11. 28 [33] JP [31] 317344/1996

[32] 1996. 12. 24 [33] JP [31] 342967/1996

[32] 1997. 4. 25 [33] JP [31] 108780/1997

[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 榭间博 里见三男

审查员 张 景

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

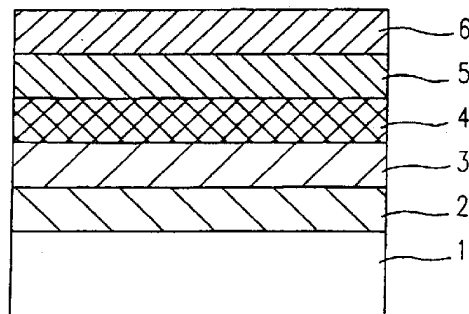
代理人 蹇 炜

权利要求书 4 页 说明书 24 页 附图 5 页

[54] 发明名称 磁致电阻器件和磁致电阻磁头

[57] 摘要

本发明的磁致电阻器件包括：至少两个其间夹有非磁性层而堆叠的磁性层；和形成传导电子的金属反射层，与磁性层的最外两层中至少之一接触。金属反射层与最外磁性层的一个表面接触，该表面与最外磁性层的与非磁性层接触的另一表面相反。在保持电子的自旋方向时金属反射层易于反射传导电子。



1、一种磁致电阻器件，包括：

至少两个其间夹有非磁性层而堆叠的磁性层，由此定义一个结构，该结构具有第一磁性表面和该结构的另一侧上的第二磁性表面；
和

传导电子的金属反射层，包括一第一金属表面和一第二金属表面；

其中该第一金属表面与该第一磁性表面和第二磁性表面至少之一接触，该金属反射层在保持电子的自旋方向的同时易于反射传导电子，

且其中该金属反射层的第二金属表面的至少 10% 的不平滑度在 0—0.3nm 的范围内，第二金属表面在保持电阻自旋转方向的同时易于反射传导电子，以便产生增加量的镜面散射，且金属反射层主要由至少 Ag、Au、Bi、Sn 和 Pb 之一构成。

2、根据权利要求 1 的磁致电阻器件，还包括位于金属反射层与磁性层之间的第二非磁性层。

3、根据权利要求 2 的磁致电阻器件，其中非磁性层主要由 Cu 构成。

4、根据权利要求 2 的磁致电阻器件，其中通过非磁性层与金属反射层接触的磁性层主要由 Co 或富 Co 的 Co-Fe 合金构成。

5、根据权利要求 2 的磁致电阻器件，其中磁性层包括至少两层磁性层和主要由 Co 或富 Co 的 Co-Fe 合金构成的中间磁性层，中间磁性层通过非磁性层与金属反射层接触。

6、根据权利要求 2 的磁致电阻器件，其中通过非磁性层与金属反射层接触的磁性层，包括至少两个主要由 Co 或富 Co 的 Co-Fe 合金构成的中间磁性层，其间夹置有软磁层。

7、根据权利要求 1 的磁致电阻器件，其中非磁性层主要由 Cu

构成。

8、根据权利要求1的磁致电阻器件，其中直接与金属反射层接触的磁性层主要由Co或富Co的Co-Fe合金构成。

9、根据权利要求1的磁致电阻器件，其中磁性层包括至少两层磁性层和主要由Co或富Co的Co-Fe合金构成的中间磁性层，中间磁性层直接与金属反射层接触。

10、根据权利要求1的磁致电阻器件，其中直接与金属反射层接触的磁性层，包括至少两个主要由Co或富Co的Co-Fe合金构成的中间磁性层，其间夹置有软磁层。

11、根据权利要求1的磁致电阻器件，其中至少两个磁性层中的至少一个具有与其他磁性层的矫顽力不同的矫顽力。

12、根据权利要求1的磁致电阻器件，还包括：

反铁磁性层，与第一磁性表面和第二磁性表面之一接触，其中该反铁磁性层和该金属反射层被形成在该结构的另一侧上。

13、根据权利要求12的磁致电阻器件，还包括位于金属反射层与磁性表面之间的另一非磁性层。

14、根据权利要求12的磁致电阻器件，其中反铁磁性层是氧化物。

15、根据权利要求12的磁致电阻器件，其中反铁磁性层由Ni-O制成。

16、根据权利要求12的磁致电阻器件，其中反铁磁性层由 α -Fe₂O₃制成。

17、根据权利要求12的磁致电阻器件，其中第2磁性层包括每一个均是通过该另一非磁性层堆叠的两个或更多的磁性层。

18、根据权利要求12的磁致电阻器件，其中反铁磁性层在基片上外延生长。

19、根据权利要求1的磁致电阻器件，包括如下结构，按如下顺

序堆叠的第1磁性层、非磁性层、第2磁性层、反铁磁性层和金属反射层。

20、根据权利要求19的磁致电阻器件，还包括位于反铁磁性层与金属反射层之间的非磁性层。

21、根据权利要求20的磁致电阻器件，其中反铁磁性层由Ir—Mn合金制成。

22、根据权利要求19的磁致电阻器件，其中反铁磁性层由Ir—Mn合金制成。

23、根据权利要求1的磁致电阻器件，包括如下结构，直接在基片表面上或者通过底层在基片上，按如下顺序堆叠的第1反铁磁性层、磁性层、非磁性层、软磁层、非磁性层、磁性层、第2反铁磁性层和金属反射层。

24、根据权利要求23的磁致电阻器件，还包括位于第2反铁磁性层与金属反射层之间的非磁性层。

25、根据权利要求24的磁致电阻器件，其中第2反铁磁性层由Ir—Mn合金制成。

26、根据权利要求23的磁致电阻器件，其中第1反铁磁性层是氧化物。

27、根据权利要求23的磁致电阻器件，其中第1反铁磁性层由Ni—O制成。

28、根据权利要求23的磁致电阻器件，其中软磁层包括通过非磁性堆叠的两个或更多的磁性层。

29、根据权利要求27的磁致电阻器件，其中第1和第2反铁磁性层中的至少一个由Ir—Mn合金制成。

30、根据权利要求23的磁致电阻器件，其中第1反铁磁性层由 α -Fe₂O₃制成。

31、根据权利要求30的磁致电阻器件，其中第1反铁磁性层在

基片上外延生长。

32、根据权利要求 23 的磁致电阻器件，其中第 2 反铁磁性层由 Ir—Mn 合金制成。

33、根据权利要求 1 的磁致电阻器件，包括如下结构，直接在基片表面上或者通过底层在基片上，按如下顺序堆叠的金属反射层、第 1 反铁磁性层、磁性层、非磁性层、软磁层、非磁性层、磁性层、第 2 反铁磁性层和金属反射层。

34、根据权利要求 33 的磁致电阻器件，还包括位于第 1 反铁磁性层与金属反射层之间、和/或位于第 2 反铁磁性层与金属反射层之间的非磁性层。

35、根据权利要求 1 的磁致电阻器件，其中非磁性层在一基片上外延生长。

36、根据权利要求 35 的磁致电阻器件，其中非磁性层的 (100) 面垂直于薄层的生长方向外延生长。

37、根据权利要求 36 的磁致电阻器件，其中非磁性层通过 Pt 底层在 MgO (100) 基片上外延生长。

38、一种磁致电阻磁头，包括：

磁致电阻器件，包括至少两个其间夹有非磁性层而堆叠的磁性层，该至少两个磁性层之一具有该磁致电阻器件的最小的矫顽力，和传导电子的金属反射层，形成为与磁性层的最外两层中至少之一接触，金属反射层与最外磁性层的一个表面接触，该表面与最外磁性层的与非磁性层接触的另一表面相反，在保持电子的自旋方向时金属反射层易于反射传导电子；和

向磁致电阻器件提供电流的磁头部分，

其中具有磁致电阻器件的最小矫顽力的磁性层的易磁化轴，垂直于待检测的信号磁场的方向。

磁致电阻器件和磁致电阻磁头

5 本发明一般涉及磁致电阻器件和磁致电阻磁头。特别是本发明涉及在弱磁场下磁致电阻变化极大的磁致电阻器件，以及涉及采用这种磁致电阻器件构成的磁致电阻磁头，适合用于高密度磁记录和重放过程。

使用磁致电阻器件的磁致电阻传感器（以下简称为“MR 传感器”）和磁致电阻磁头（以下简称为“MR 磁头”）已经得到开发。通常，主要采用 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 10 制成的坡莫合金和 $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.2}$ 制成的合金膜作为这些器件的磁性材料。这些磁致电阻材料的磁致电阻变化比（以下简称为“MR 比”）约为 2.5%。为了开发呈现高敏感性的磁致电阻器件，需要具有高 MR 比的磁致电阻材料。

近来发现[Fe/Cr]和[Co/Ru]多层在强磁场（约 1-10 千奥斯特（kOes））中呈现巨磁致电阻效应，该多层中通过 Cr 或 Ru 制成的金属非磁性薄膜实现了反铁 15 磁性耦合（Physical Review Letter Vol.61,p.2472,1988;和 Physical Review Letter Vol.64,p.2304,1990）。

但是，由于为了获得大的 MR 变化，这些人造多层需要强度为几至几十 kOes 的磁场，所以这种人造多层不能实际应用于磁头等。

此外，还发现[Ni-Fe/Cu/Co]人造多层呈现巨磁致电阻效应，该多层采用具有 20 不同矫顽力的 Ni-Fe 和 Co 制成的磁性薄膜，其中它们由 Cu 制成的金属非磁性薄膜隔开，相互并不磁性耦合，获得了在室温施加强度约为 0.5kOe 的磁场时具有约 8%的 MR 比的磁致电阻材料（Journal of Physical Society of Japan, Vol. 59, p. 3061, 1990）。

但是使用这种类型的磁致电阻材料时，为了获得大的 MR 变化要求磁场强度 25 约为 100Oes。此外，其磁致电阻从负磁场向正磁场非对称地变化，亦即，其磁致电阻呈现较差的线性。于是，这种磁致电阻材料的性能不适于实际使用。

而且，还发现[Ni-Fe-Co/Cu/Co]和[Ni-Fe-Co/Cu]人造多层呈现巨磁致电阻效应，该多层采用 Ni-Fe-Co 和 Co 制成的磁性薄膜，其中通过 Cu 实现了 RKKY 型反铁磁性耦合，获得了在室温施加强度约为 0.5kOe 的磁场时具有约 15%的 MR 30 比的磁致电阻材料（Technical Report by THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,

INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS of Japan, MR91-9)。

但是使用这种类型的磁致电阻材料时，其磁致电阻从零磁场向正磁场基本线性变化，该材料具有的性能基本适合用于 MR 传感器。除此之外，为了获得大 MR 比，也需要约强度为 50Oes 磁场。于是，这种特性不适合 MR 磁头的应用，
5 该磁头工作所要求的磁场最大在约 20Oes，更小最好。

作为即使施加极弱磁场也能工作的薄膜，已经提出自旋阀式薄膜，其中作为反铁磁性材料的 Fe-Mn 附着于 Ni-Fe/Cu/Ni-Fe 结构上 (Journal of Magnetism and Magnetic Materials 93, p. 101, 1991)。这种类型的磁致电阻材料的工作磁场实际较弱，而且观察到了良好的线性。但是，其 MR 比较小约为 2%，而且 Fe-Mn
10 膜的耐蚀性较差，奈耳温度 (有序温度) 低。因此，这种器件的特性呈现不利的较大温度依赖性。

而且，还提出了具有 Ni-Fe/Cu/Co-Pt 等结构的自旋阀膜，采用例如 Co-Pt 的硬磁材料代替反铁磁性材料。在这种情况下，以等于或小于硬磁材料的矫顽力，旋转软磁材料层的磁化方向，由此产生平行磁化状态和反平行磁化状态。但是即使
15 采用这种结构，仍难以改善软磁材料层的性能。于是，这种结构也未得到实用。

此外，作为提高自旋阀膜的 MR 比的措施，还提出了如下结构，例如通过把低电阻金属制成的低电阻背层附着于自旋阀膜后背而形成的 Cu/Ni-Fe/Cu/Ni-Fe/Fe-Mn (美国专利 5, 422, 571)。这种结构期望通过增长具有特定自旋方向的电子的平均自由路径来提高 MR 比。

20 传统的自旋阀式 MR 器件，无论器件是采用反铁磁性材料的类型还是采用硬磁层的类型，均存在即使其磁场敏感性优异、其 MR 比也低的问题。同样，即使提供低电阻背层也不能满意地提高 MR 比。推测这是因为自旋阀式 MR 器件的较小厚度易于引起电子在器件表面上的弥散性散射。

对这种现象可以更具体说明如下。

25 巨磁致电阻效应原本起源于磁性层与非磁性层之间界面上的电子的与自旋相关的散射。因此，为了提高散射发生的可能性，重要的是降低与非自旋相关的散射发生的可能性并增长电子的平均自由路径。在自旋阀膜中，待堆叠的磁性层和非磁性层的数量较少。因此，自旋阀膜的膜厚度通常小于 (例如在 20nm 至 50nm 的范围内) 反铁磁性耦合式巨磁致电阻膜。因此，在这种膜表面上电子被散射的
30 可能性高，电子的平均自由路径短。这是自旋阀膜的 MR 比变低的主要原因。

一般，薄膜表面具有某种在几十 nm 数量级的不平整度，这与传导电子的波长（即费米波长）的数量级基本相同。在这种情形，传导电子在膜表面上被弥散性散射。通常，在弥散性散射的情形，电子的自旋方向不能保持。

本发明的磁致电阻器件包括：至少两个其间夹有非磁性层而堆叠的磁性层；
5 和形成传导电子的金属反射层，与磁性层的最外两层中至少之一接触，金属反射层与最外磁性层的一个表面接触，该表面与最外磁性层的与非磁性层接触的另一表面相反，在保持电子的自旋方向时金属反射层易于反射传导电子。

在一个实施例中，磁致电阻器件还包括位于金属反射层与磁性层之间的非磁性层。

10 在另一实施例中，非磁性层主要由 Cu 构成，金属反射层主要由 Ag、Au、Bi、Sn 和 Pb 中的至少一种构成。

在另一实施例中，通过非磁性层与金属反射层接触的磁性层主要由富 Co 的 Co-Fe 合金构成。

15 在另一实施例中，磁性层包括至少两层磁性层和主要由 Co 或富 Co 的 Co-Fe 合金构成的中间磁性层，中间磁性层通过非磁性层与金属反射层接触。

在另一实施例中，通过非磁性层与金属反射层接触的磁性层，包括至少两个主要由 Co 或富 Co 的 Co-Fe 合金构成的中间磁性层，其间夹置有软磁层。

在另一实施例中，金属反射层具有平滑表面。

在另一实施例中，至少金属反射层的部分表面的平滑度在几十 nm 的数量级。

20 在另一实施例中，至少 10% 的金属反射层表面是不平整度约在三埃或以下的平滑表面。

在另一实施例中，直接与金属反射层接触的磁性层主要由 Co 或富 Co 的 Co-Fe 合金构成。

25 在另一实施例中，磁性层包括至少两层磁性层和主要由 Co 或富 Co 的 Co-Fe 合金构成的中间磁性层，中间磁性层直接与金属反射层接触。

在另一实施例中，直接与金属反射层接触的磁性层，包括至少两个主要由 Co 或富 Co 的 Co-Fe 合金构成的中间磁性层，其间夹置有软磁层。

在另一实施例中，至少两个磁性层中的至少一个具有与其他磁性层的矫顽力不同的矫顽力。

30 在另一实施例中，磁致电阻器件包括：通过非磁性层堆叠的第 1 和第 2 磁性

层；与第 1 磁性层的一个表面接触地形成的反铁磁性层，该表面与第 1 磁性层的与非磁性层接触的另一表面相反；和与第 2 磁性层的一个表面接触地形成的金属反射层，该表面与第 2 磁性层的与非磁性层接触的另一表面相反。

在另一实施例中，反铁磁性层是氧化物。

5 在另一实施例中，反铁磁性层由 Ni-O 制成。

在另一实施例中，反铁磁性层由 α -Fe₂O₃制成。

在另一实施例中，第 2 磁性层包括通过非磁性层堆叠的两个或更多的磁性层。

在另一实施例中，反铁磁性层在基片上外延生长。

10 在另一实施例中，磁致电阻器件包括如下结构，按如下顺序堆叠的第 1 磁性层、非磁性层、第 2 磁性层、反铁磁性层和金属反射层。

在另一实施例中，磁致电阻器件还包括位于反铁磁性层与金属反射层之间的非磁性层。

在另一实施例中，反铁磁性层由 Ir-Mn 合金制成。

15 在另一实施例中，磁致电阻器件包括如下结构，直接在基片表面上或者通过底层在基片上，按如下顺序堆叠的第 1 反铁磁性层、磁性层、非磁性层、软磁层、非磁性层、磁性层、第 2 反铁磁性层和金属反射层。

在另一实施例中，磁致电阻器件还包括位于第 2 反铁磁性层与金属反射层之间的非磁性层。

在另一实施例中，第 2 反铁磁性层由 Ir-Mn 合金制成。

20 在另一实施例中，第 1 反铁磁性层是氧化物。

在另一实施例中，第 1 反铁磁性层由 Ni-O 制成。

在另一实施例中，软磁层包括通过非磁性层堆叠的两个或更多的磁性层。

在另一实施例中，第 1 和第 2 反铁磁性层中的至少一个由 Ir-Mn 合金制成。

在另一实施例中，第 1 反铁磁性层由 α -Fe₂O₃制成。

25 在另一实施例中，第 1 反铁磁性层在基片上外延生长。

在另一实施例中，磁致电阻器件包括如下结构，直接在基片表面上或者通过底层在基片上，按如下顺序堆叠的金属反射层、第 1 反铁磁性层、磁性层、非磁性层、软磁层、非磁性层、磁性层、第 2 反铁磁性层和金属反射层。

30 在另一实施例中，磁致电阻器件还包括位于第 1 反铁磁性层与金属反射层之间、和/或位于第 2 反铁磁性层与金属反射层之间的非磁性层。

在另一实施例中，非磁性层在基片上外延生长。

在另一实施例中，非磁性层的(100)面垂直于薄层的生长方向外延生长。

在另一实施例中，非磁性层通过Pt底层在MgO(100)基片上外延生长。

本发明的磁致电阻磁头包括：磁致电阻器件，包括至少两个其间夹有非磁性层
5 而堆叠的磁性层，和传导电子的金属反射层，形成为与磁性层的最外两层中至少
之一接触，金属反射层与最外磁性层的一个表面接触，该表面与最外磁性层的与
非磁性层接触的另一表面相反，在保持电子的自旋方向时金属反射层易于反射传
导电子；和向磁致电阻器件提供电流的磁头部分。具有磁致电阻器件的最小矫顽
力的磁性层的易磁化轴或者与反铁磁性层接触的磁性层的易磁化轴，垂直于待检
10 测的信号磁场的方向。

以下，将说明本发明所实现的功能或效果。

本发明的磁致电阻器件的特征在于包括金属反射层，其在自旋阀膜表面上保
持电子自旋方向时，易于引起镜面散射。

金属反射层应具有可被认为是几十nm数量级的平滑度。在此情形，传导电
15 子在膜表面产生弹性散射(镜面散射)，保存了传导电子的自旋方向，并可实现
与其平均自由路径变短所实现的相同效果。结果，提高了MR比。

金属反射层最好由Ag、Au、Bi、Sn或Pb这些材料制成。这些材料有利
于形成几十nm数量级的平滑度，与通常用做自旋阀膜的材料例如Ni、Fe、Cu
和Co不同。这些材料中，以Ag和Au为好，Ag最有效。使用Ag或Au时，
20 (111)面更易于平滑，更容易获得可被认为是几十nm数量级的平滑度的表面。
于是，(111)面最好平行于基片表面。

更好地，在金属反射层与自旋阀膜(的磁性层)之间插入Cu等制成的非磁性
层。非磁性层不仅对金属反射层表面的平滑起缓冲层的作用，而且还增加了在非
磁性层与磁性层之间界面的与自旋相关的散射。

25 此外，最好在磁性层与金属反射层之间提供Co层。提供该层是为了通过增强
在磁性层与非磁性层(即金属反射层)之间的界面的与自旋相关的散射来提高MR
比。

更好地是在单晶基片上外延生长整个自旋阀膜。

而且，本发明的磁致电阻器件最好构成为磁致电阻器件部分的软磁层的易磁
30 化轴垂直于待检测的信号磁场的方向。

本发明的磁致电阻磁头的特征在于除了磁致电阻器件之外，还包括引线部分。

于是，这里说明的本发明具有以下优点（1）提供具有高 MR 比的磁致电阻器件和使用该器件的磁致电阻磁头，（2）提供其中电子具有长的平均自由路径自旋阀式磁致电阻器件，和使用该器件的磁致电阻磁头，（3）提供自旋阀式磁致电阻器件，其中在磁性层与非磁性层之间的界面电子发生与自旋相关的散射的可能性高，和使用该器件的磁致电阻磁头。

通过阅读和了解以下参考附图所做的具体说明，本领域的技术人员将可知晓本发明的这些和其他优点。

10 图 1A ~ 1C 是本发明的磁致电阻器件的实施例的剖面图。

图 2A 和 2B 是本发明的磁致电阻器件的另一实施例的剖面图。

图 3 是本发明的磁致电阻器件的又一实施例的剖面图。

图 4A 和 4B 是本发明的磁致电阻器件的再一实施例的剖面图。

图 5 是本发明的磁致电阻器件的又一实施例的剖面图。

15 图 6 是本发明的磁致电阻器件的示例性构成的剖面图。

以下，将参考附图说明本发明的磁致电阻器件和磁致电阻磁头。

图 1A 至 5 是展示本发明磁致电阻器件的示例性实施例的剖面图。这些图中，图 1A 至 3 中展示了采用硬磁层的自旋阀膜（即具有分别不同的矫顽力的两种磁性层）的实例。此情况中，具有较大矫顽力的磁性层被称为“硬磁层”，具有较小矫顽力的磁性层被称为“软磁层”。

图 1A 所示的本发明的磁致电阻器件具有如下结构，通过底层 2 在基片 1 上，按以下顺序堆叠的软磁层 3、非磁性层 4、硬磁层 5 和金属反射层 6。在传统的自旋阀器件中，不设置金属反射层，在其表面上代之以形成保护层。在形成 MR 磁头时，采用绝缘层等作为屏蔽气隙材料。

25 Ni-Co-Fe 合金一般适合作为自旋阀膜的软磁层 3 的材料。Ni-Co-Fe 膜最好是表示为 $Ni_xCo_yFe_z$ 的富 Ni 软磁层，其具有的原子组成满足以下范围：

$$0.6 \leq x \leq 0.9$$

$$0 \leq y \leq 0.4$$

$$0 \leq z \leq 0.3$$

30 或者是表示为 $Ni_xCo_yFe_z$ 的富 Co 软磁层，其具有的原子组成满足以下范围：

$$0 \leq x' \leq 0.4$$

$$0.2 \leq y' \leq 0.95$$

$$0 \leq z' \leq 0.5$$

具有这些组成的膜呈现 MR 传感器或 MR 磁头所需要的低磁致伸缩特性 (1×10^5)。

另外, 软磁层 3 也可由 Co-Mn-B、Co-Fe-B、Co-Nb-Zr、Co-Nb-B 等制成的非晶膜。

软磁层 3 的膜厚度最好约在 1nm 至 10nm 的范围。原因如下。如果膜过厚, 则 MR 比因分路效应而降低。另一方面, 如果膜过薄, 则其软磁性能降低。厚度约在 2nm 至 5nm 更好, 约在 2nm 至 3nm 最好。

硬磁层 5 最好由具有约为 0.7 以上的矩形比的铁磁性材料制成, 约为 0.85 更好。这里, “矩形比” 可以表示为剩余磁场 M_r 与饱和磁场 M_s 的比 ($=M_r/M_s$)。

如果硬磁层 5 的矩形比小, 则在硬磁层 5 与软磁层 3 之间不能建立全平行磁化状态或者全反平行磁化状态。于是, 需要使用具有大矩形比的硬磁层。

作为用于硬磁层 5 的材料, Co 族材料包括 Co、Co-Fe 合金和 Co-Pt 合金呈现优异的性能。Co 和 Co-Fe 合金特别适合。

硬磁层 5 的膜厚度最好约在 1nm 至 10nm 的范围内。原因如下。如果膜过厚, 则 MR 比因分路效应而降低。另一方面, 如果膜过薄, 则其磁性能降低。厚度约在 1nm 至 5nm 的范围内更好。

Cu、Ag、Au、Ru 等可以用做硬磁层 5 与软磁层 3 之间的非磁性层 4 的材料。这些材料中, Cu 最适于使用。为了减弱两个磁性层 5 和 3 之间的交互作用, 非磁性层 4 的厚度要求至少约在 1.5nm 以上, 约在 1.8nm 以上更好。

但是, 如果非磁性层 4 变得过厚, 则其 MR 比降低。于是, 非磁性层 4 的厚度应约在 10nm 以下, 约在 3nm 以下更好。

此外, 向非磁性层 4 插入厚度约为 1nm 以下的另一非磁性层, 有利于降低硬磁层 5 与软磁层 3 之间的磁耦合。例如, 代替形成 Cu 制成的单层非磁性层 4, 非磁性层可以具有多层结构, 例如 Cu/Ag/Cu、Cu/Ag 和 Ag/Cu/Ag。待插入的非磁性层最好由 Ag、Au 等制成。此时, 多层非磁性层的膜厚度应大约等于单层非磁性层 4。待插入非磁性层 4 的非磁性层的膜厚度至多约为 1nm, 最好约在 0.4nm 以下。

另外，在磁性层（即软磁层 3 或硬磁层 5）与非磁性层 4 之间的界面插入中间磁性层，有利于进一步提高 MR 比。但是，如果中间磁性层过厚，则 MR 比的磁场敏感性降低。因此，中间磁性层的膜厚度应在 2nm 以下，最好在 1.8nm 以下。另一方面，为了使中间磁性层有效地作用，其膜厚度应至少约在 0.2nm，最好约在 0.8nm 以上。Co 或富 Co 的 Co-Fe 合金适合用做中间磁性层的材料。

制造多晶膜时，除非按下述形成外延膜，否则采用具有相对平滑表面的材料例如玻璃、Si 或 Al_2O_3 -TiC 作为基片。制造 MR 磁头时，使用 Al_2O_3 -TiC 基片。

提供底层 2 用于改善整个 MR 器件部分（从软磁层 3 至金属反射层 6）的结晶性，并提高其 MR 比，其通常由 Ta 制成。制造 MR 磁头时，在基片 1 上形成了 SiO_2 、 Al_2O_3 等制成的绝缘层和 Ni-Fe 等制成的下屏蔽层之后，再形成 Ta 制成的底层 2。

根据本发明，为了进一步提高 MR 比，除了自旋阀膜的上述基本结构、包括软磁层 3、非磁性层 4 和硬磁层 5 之外，还形成金属反射层 6。

但是对于金属反射层 6，传导电子会在硬磁层 5 的表面上产生弥散性散射，从而丢失关于自旋极化的信息。巨磁致电阻效应产生于传导电子与自旋相关的散射。于是，如果在表面的自旋信息丢失或减少，则 MR 比降低。这就是传统自旋阀膜不能获得大 MR 比的原因。

相反，在包括金属反射层 6 的本发明磁致电阻器件中，大量传导电子在金属反射层 6 表面上镜面散射。因此，保存了大量的自旋信息。当电子按此方式在薄膜表面镜面散射时，可以实现与堆叠多对磁性层和非磁性层所实现的相同的效果。结果，提高了 MR 比。

为了产生镜面散射，当结合电子波长评价表面不平整度时（即在几埃数量级上），薄膜表面应具有平滑界面（表面）。这里，“平滑表面”是指无不平整度的整体平滑表面。但是，即使表面具有几 nm 数量级的大不平整度时，只要该表面的至少一部分可认为是 10^1nm 数量级的平滑度，该表面就仍可认为是平滑的。具体地，在“平滑表面”中，具有约 0.3nm 以下的不平整度并具有约 $10\text{nm} \times 10\text{nm}$ 面积的超平滑表面应占据至少约 10%，最好约在整个表面的 20%。基于此目的，需要选择特殊材料。

Ag、Au、Bi、Sn、Pb 等用做金属反射层的材料为好。与经常用于自旋阀膜的材料如 Ni、Fe、Cu 和 Co 不同，这些材料易于产生可认为具有几十 nm

数量级平滑度的表面。这些材料中，Ag 和 Au 是优异的，Ag 是最有效的。特别是使用 Ag 或 Au 时，(111) 面最易于是平滑的，易于获得可认为具有几十 nm 数量级平滑度的表面。于是，(111) 面应平行于薄膜表面。如果金属反射层过厚，则 MR 比因分路效应而降低。因此，金属反射层的厚度应在约 10nm 以下，在约 3nm 以下更好。但是，如果金属反射层过薄，则其效果变弱。于是，金属反射层的厚度需要至少在约 0.5nm，在约 1nm 更好。

此外，如果在金属反射层 6 与硬磁层 5 之间插入非磁性层 7，如图 1B 所示，则 MR 比会进一步提高。当磁性层 5 由 Co 族材料制成，而且金属反射层 6 由例如 Ag、Au 等材料制成，在其间插入由 Cu 等制成的非磁性层 7 特别有效。非磁性层 7 不仅使金属反射层 6 表面更平滑，而且还增加了与自旋相关的散射。这是因为在磁性层与非磁性层之间的界面待产生的与自旋相关的散射，在 Co/Cu 界面的大于在 Co/Ag 界面的。从此现象来看，当磁性层 5 由 Co 之外的材料制成，通过在非磁性层 7 与磁性层 5 之间插入 Co 层，或者插入 Co 或 Co-Fe 合金制成的中间磁性层，可以获得呈现大 MR 比的膜。中间磁性层的厚度最好等于待在磁性层（即软磁层 3 或硬磁层 5）与非磁性层 4 之间插入的中间磁性层的厚度。

非磁性层 7 的优选材料与非磁性层 4 相同。非磁性层 7 的膜厚度应约为 2nm 以下，约为 1nm 以下更好。为了提高 MR 比，厚度应至少约在 0.5 nm。

图 1A 展示了通过底层 2 在基片 1 上，按以下顺序形成软磁层 3、非磁性层 4、硬磁层 5 和金属反射层 6 的情形。应注意，对于提高磁致电阻器件的 MR 比，设置底层 2 是可选择的。另外，本发明可适用于图 1C 所示情形，其中按与图 1A 和 1B 所示情形相反的顺序堆叠四层 3-6。

此外，可以在图 2B 所示的两种磁性层上设置两个金属反射层 6，来代替如图 1A-1C 和 2A 所示的在两种单一磁性层（即软磁层 3 或硬磁层 5）上设置单一金属反射层 6。在后者情形，与在两种单一磁性层上设置单一金属反射层的情形相比，可增强电子镜面散射的效果和 MR 比提高的效果。

图 3 展示了在双重自旋阀膜的两个表面上设置金属反射层 6 的情形。在具有由硬磁层 5、非磁性层 4、软磁层 3、非磁性层 4 和硬磁层 5 构成结构的所谓双重自旋阀膜中，与具有由硬磁层 5、非磁性层 4 和软磁层 3 构成简单结构的自旋阀膜相比，由于磁性层/非磁性层界面数量增加，所以其 MR 比也可提高。金属反射层 6 也可有效地用于这种双重自旋阀膜。此外，在一个表面上设置金属反射层

的情形，虽然效果满意度较低，但仍能实现一定程度的效果。

通过在金属反射层 6 与磁性层（即软磁层 3 或硬磁层 5）之间插入非磁性层，进一步提高 MR 比，这一事实对于图 1A-图 5 所示的所有情形都是正确的。

无论磁致电阻器件是多晶膜还是单晶膜，均可实现上述效果。如果磁致电阻
5 器件是外延膜（或者单晶膜），通过设置金属反射层 6 可以实现特别显著的效果。这是因为金属反射层 6 是外延膜时，增强了在表面上的镜面散射。

可以采用各种方法形成外延膜。任何情况下，最好使用 MgO、Si 等制成的基片。使用 MgO（100）基片或 Si（111）基片更好。

在使用 MgO（100）基片时，最好形成 Pt 层作为第 1 底层，然后形成 Cu
10 层作为第 2 底层。Pt 层的膜厚度最好在 5nm-50nm 的范围内。之后，形成图 1B 所示的器件。此时，如果非磁性层 7 由 Cu 制成，金属反射层 6 由 Ag 制成，则这些层的晶格常数相互极为不同。因此，Ag 层的次要部分具有（100）取向，但其主要部分具有易于实现晶格匹配的（111）取向。Ag 层具有高度平滑的表面，其中易于引起镜面散射，有利地极大提高了 MR 比。

使用 Si（111）基片时，在不设置任何底层的基片上直接形成 Ag 层，然后
15 在其上依次堆叠 Cu 非磁性层、Ni-Fe 软磁层、Cu 非磁性层、Co 硬磁层、Cu 非磁性层和 Ag 金属反射层。此时，基片上的 Ag 层膜厚度应至少约在 5nm，最大约为 10nm。

在以上说明中，已经针对包括硬磁层的自旋阀膜使用金属反射层的本发明应
20 用情况做了说明。另外，本发明也可应用于包括反铁磁性层的自旋阀膜。在这种情况下，与反铁磁性层接触的磁性层的磁化方向被固定。另一方面，不与反铁磁性层接触的磁性层的磁化方向根据外磁场的施加而变化，从而改变其磁致电阻。因此，无论提高相对于外磁场的磁场敏感性，使用软磁层作为不与反铁磁性层接触的磁性层。图 4A 和 4B 和图 5 展示了示例情况。

图 4A 展示了通过底层 2 在基片 1 上，按如下顺序堆叠金属反射层 6、软磁
25 层 3、非磁性层 4、磁性层 8 和反铁磁性层 9 的结构。在传统自旋阀膜中，不设置图 4A 所示金属反射层 6。金属反射层 6 按与使用硬磁层的自旋阀膜相同的方式，有利地提高了自旋阀膜整体的 MR 比。因此，金属反射层的优选厚度和优选材料与上述相同。而且，按与使用硬磁层的自旋阀膜相同的方式，在金属反射层 6
30 与软磁层 3 之间插入非磁性层是有效的。图 4A 展示了由金属反射层 6 开始结构

堆叠的情形。相反，可以按如下顺序进行结构的堆叠，反铁磁性层 9、磁性层 8、非磁性层 4、软磁层 3 和金属反射层 6，如图 4B 所示。

Fe-Mn、Ni-Mn、Pd-Mn、Pt-Mn、Ir-Mn、Fe-Ir 等可以用做金属反铁磁性层 9 的材料。这些材料中，Fe-Mn 是最经常用于传统的自旋阀膜。但是，此材料从材料的耐蚀性等来看在实用中存在某些问题。在耐蚀性方面，例如 Ir-Mn 材料特别适合。Ir₂Mn_{1-z} 的适当原子组成比是： $0.1 \leq z \leq 0.5$ 。

另外，各种氧化物例如 Ni-O、Co-O、Ni-O/Co-O、Co-Ni-O、Fe-O 适合用做反铁磁性层 9 的材料。这些氧化物中，Ni-O 和 α -Fe₂O₃ 特别适合。如果良好使用其绝缘性能，则这些绝缘体可实现相当大的 MR 比。此外，使用磁致电阻器件作为 MR 磁头时，反铁磁性层 9 可以用做部分屏蔽气隙部件。反铁磁性层 9 由 α -Fe₂O₃ 制成时，如果采用蓝宝石（11-20）基片（通称为 A 面）作为基片 1，则可在基片上外延生长 α -Fe₂O₃ 膜。如果在其上再形成 Ni-Fe 合金层，则可在膜平面内的 [0001] 方向施加单轴各向异性。因此，可以制成大 MR 比的样品。

图 4A 展示了在自旋阀膜的软磁层上设置金属反射层的情形，该自旋阀膜具有软磁层、非磁性层、磁性层和反铁磁性层的结构。另外，金属反射层可以设置在反铁磁性层上。在此情形，要求使用具有导电性的金属反铁磁性层作为反铁磁性层，反铁磁性层的膜厚度应尽可能地小。从这点来看，例如 Ir-Mn 材料适合用做反铁磁性材料。反铁磁性层的膜厚度最好约在 5nm-10nm 的范围内。

作为磁性层 8 的材料，Co、Ni-Fe、Ni-Fe-Co 等特别适合。

双重自旋阀结构，包括第 1 反铁磁性层 9-1、磁性层 8、非磁性层 4、软磁层 3、非磁性层 4、磁性层 8 和第 2 反铁磁性层 9-2，也适合用做采用反铁磁性层的自旋阀膜，其方式与采用硬磁层的自旋阀膜相同。在此情形，如果在至少一个反铁磁性层表面上设置金属反射层，如图 5 所示，则可有利地提高 MR 比。在此情形，与金属反射层 6 接触的反铁磁性层（如图 5 中的 9-2）最好由金属反铁磁性材料例如 Ir-Mn 制成。另一方面，不与金属反射层 6 接触的反铁磁性层（如图 5 中的 9-1）适合由绝缘反铁磁性材料制成，例如氧化物如 Ni-O。在此情形，如果在金属反射层与反铁磁性层之间设置非磁性层，则非磁性层可进一步有利地提高 MR 比。

可以采用溅射法或者蒸发法形成上述各层 2-8 和基片中的每一个。在各种情况下，可以制造本发明的磁致电阻器件。可以使用各种溅射技术包括 DC 溅射、

RF 溅射、和离子束溅射。这些技术中的任意一种均可制造本发明的磁致电阻器件。另一方面，使用蒸发法时，超高真空蒸发技术特别适合。

使用上述本发明的磁致电阻器件可以形成磁致电阻磁头（以下简称为“MR 磁头”）。硬膜偏磁式 MR 磁头的示例性结构如图 6 所示。如图 6 所示，形成 MR 器件部分 20，以便置于上屏蔽气隙 14 与下屏蔽气隙 11 之间。由 Al_2O_3 、 SiO_2 等制成的绝缘膜适合用做屏蔽气隙 14 和 11。在下屏蔽气隙 11 的外侧和上屏蔽气隙 14 的外侧上再分别形成一对屏蔽 10 和 15。由 Ni-Fe 合金等制成的软磁层用做屏蔽 10 和 15。为了控制 MR 器件部分 20 的磁畴，由 Co-Pt 合金等制成的硬膜形成施加偏置磁场的硬偏磁部分 12。这里，硬膜用于施加偏置磁场。另外，也可使用反铁磁性材料例如 Fe-Mn。MR 器件部分 20 分别通过屏蔽气隙 11 和 14 与屏蔽 10 和 15 电绝缘。经过引线部分 13 施加电流，可以检测 MR 器件部分 20 中的电阻变化。

为了在不久的将来实现用于硬盘驱动器的超高密度，需要减小 MR 器件 20 的记录波长。因此，图 6 所示的屏蔽 10 和 15 之间的距离 d 需要减小，由此需要 MR 器件部分 20 的厚度减小，正如图 6 清楚可见。MR 器件部分 20 的厚度应最大约为 20nm。

此外，为了在软磁层的磁化方向反向时防止产生巴克豪森噪声，图 6 所示 MR 器件 20 最好按如下构成，图 1A-图 5 所示软磁层 3 的易磁化轴的方向垂直于待检测信号磁场的方向。

以下，将说明本发明的磁致电阻器件和磁致电阻磁头的特定实施例。

实施例 1

采用 MgO (100) 单晶基片作为基片 1，利用超高真空蒸发法，制造采用硬磁层的图 1A-1C 所示类型的自旋阀器件，评价其 MR 性能。采用 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 合金（其中组成表示为原子组成比）作为软磁层 3，Co 作为硬磁层 5，Cu 作为非磁性层 4，Ag 或 Au 作为金属反射层 6。采用电子束蒸发源作为淀积 Ni-Fe、Co 的蒸发源，采用 K 电池作为 Cu、Ag 和 Au 的蒸发源。

首先，在超高真空蒸发设备中，把 MgO 基片 1 的温度保持在约 500°C ，从而在基片上外延生长约 10nm 厚的 Pt 膜作为第 1 底层。然后，在基片 1 的温度降至室温后，形成约 5nm 厚的 Cu 层作为第 2 底层。通过在约 200°C 加热样品约 30 分钟，使样品表面条件改善，在室温形成下表 1-1 所示的自旋阀膜。

Cu 底层形成之后在约 200 °C 进行的热处理, 对于获得平滑表面是非常重要的。这是因为在未进行热处理的底层上形成自旋阀膜时 MR 比小。应予注意, 表 1 中, 从所有自旋阀膜中省略了包括 MgO/Pt (10nm) /Cu (5nm) 的底层部分。

5 [表 1-1]

编号	样品结构	MR 比
A1	Ni-Fe (3nm) /Cu (2.1nm) /Co (3nm)	2.8%
A2	Ni-Fe (3nm) /Cu (2.1nm) /Co (3nm) /Ag (2nm)	3.9%
A3	Ni-Fe (3nm) /Cu (2.1nm) /Co (3nm) /Cu (1.2nm)	2.4%
A4	Ni-Fe (3nm) /Cu (2.1nm) /Co (3nm) /Cu (1.2nm) /Ag (2nm)	5.1%
A5	Ni-Fe (3nm) /Cu (2.1nm) /Co (3nm) /Cu (1.2nm) /Pt (2nm)	1.9%
A6	Ni-Fe (3nm) /Cu (2.1nm) /Co (3nm) /Cu (1.2nm) Au (2nm)	4.7%

根据现场监测的 RHEED (反射高能电子衍射) 图形, 在所有样品 A1-A6 中, 对于 Ni-Fe、 Cu、 Co 和 Pt 在平行于基片表面(或者膜表面) 的方向生长 (100) 面, 而对于 Ag 和 Au 在平行于膜表面的方向主要生长 (111) 面。

10 利用隧道扫描电镜 (STM) 观察制造的器件表面。结果, 在样品 A4 中, 在 $10 \times 10\text{nm}$ 的观察范围内, 形成了具有数量级约为 0.2nm 的不平整度的高度平坦表面的部分占据了整个表面的 50% 以上。另一方面, 按相同方法观察到的器件表面粗糙度对于样品 A3 约为 0.7nm, 对于样品 A2 约为 0.3nm。

15 根据直流四端法通过在室温施加强度约为 500Oe (40kA/m) 的外磁场, 评价所制造的器件性能。评价结果也示于表 1-1。从表 1-1 可见, 具有简单自旋阀结构的传统样品 (即样品 A1) 的 MR 比低。另一方面, 具有图 1A 所示结构的本发明样品 (即样品 A2) 的 MR 比提高约 1%, 该结构中对于样品 A1 的结构附加设置 Ag 层作为金属反射层。但是, 即使象在对比例中用 Cu 层等置换 Ag 制金属反射层 (即样品 A3) , 与传统样品 (即样品 A1) 相比, 其 MR 比反而降低。

但是, 如果在样品 A3 结构的 Cu 层上附加设置 Ag 层, 如图 1B 所示, 则此例 (即样品 A4) 的 MR 比比样品 A2 大很多。即使形成 Au 层来代替样品 A4 的 Ag 层, 也能实现与样品 A4 基本相同的效果, 此例 (即样品 A6) 的 MR 比也高。除此之外, 如果采用 Pt 代替 Ag, 则对比例 (即样品 A5) 的 MR 比低。

- 5 在上述实例中, 在形成硬磁层之前形成软磁层。但是, 即使在形成软磁层之前形成硬磁层, 如图 1C 所示, 也能实现相同的效果。这种情况的结果示于表 1-2。应予注意, 表 1-2 中, 与表 1-1 相同, 从整个自旋阀样品中也省略了包括 MgO/Pt (10nm) /Cu (5nm) 的底层部分。

[表 1-2]

No.	样品结构	MR 比
A7	Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)	3%
A8	Ag(2nm)/Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)	4.5%
A9	Ag(2nm)/Cu(1nm)/ Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)	5.5%

10

从表 1-2 可见, 硬磁层设置成更靠近基片的本发明样品 (即样品 A8 和 A9) 的 MR 比大于传统的自旋阀膜 (即样品 A7)。

- 上述实例中, 假定金属反射层设置在硬磁层上。但是, 金属反射层设置在软磁层上, 如图 2A 所示, 也可获得相同的效果。制造如下表 1-3 所示自旋阀器件, 按与表 1-1 和 1-2 相同的方法评价其 MR 比。

[表 1-3]

No.	样品结构	MR 比
A10	Co(5nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(5nm)	4.0%
A11	Co(5nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(5nm)/Ag(3nm)	5.6%
A12	Co(5nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(5nm)/Cu(1.2nm)	3.2%
A13	Co(5nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(5nm)/ Cu(1.2nm)/ Ag(3nm)	7.1%

从表 1-3 所示结果清楚可见, 本发明样品 (即样品 A11 和 A13) 的 MR 比大于传统样品 (即样品 A10 和 A12)。

表 1-3 中，结构的堆叠从硬磁层开始。但即使从软磁层开始结构的堆叠，也能按相同的方式制造样品及评价其性能。结果示于以下表 1-4。

[表 1-4]

No.	样品结构	MR 比
A14	Ni-Fe(5nm) /Cu(2.1nm)/Co(5nm)	4.2%
A15	Ag(1nm)/Ni-Fe(5nm) /Cu(2.1nm)/Co(5nm)	5.5%
A16	Cu(1nm)/Ni-Fe(5nm) /Cu(2.1nm)/Co(5nm)	3.3%
A17	Ag(1nm)/Cu(1nm)/Ni-Fe(5nm)/Cu(2.1nm)/ Co(5nm)	6.2%

5

从表 1-4 所示结果清楚可见，本发明样品（即样品 A15 和 A17）的 MR 比大于传统样品（即样品 A14 和 A16）。

接着，在按与表 1-1 相同方式形成底层之后，形成图 3 所示类型的双重自旋阀膜。样品结构和 MR 比测量结果示于以下表 1-5。

10

[表 1-5]

No.	样品结构	MR 比
A18	Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)	6.2%
A19	Ag(1nm)/Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)/Ag(1nm)	8.3%
A20	Ag(1nm)/Cu(1nm)/Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)/ Cu(2.1nm)/Co(3nm)/Ag(1nm)	10.1%

从表 1-5 所示结果清楚可见，本发明的自旋阀器件样品（即样品 A19 和 A20）的 MR 比大于传统样品（即样品 A18）。

实施例 2

15

采用 Si（111）单晶基片通过超高真空蒸发法，制备具有 Ni-Fe/Cu/Co 基本结构的自旋阀器件，如图 2B 所示。首先，把 Si 基片浸入 HF 水溶液，去除其表面上的自然氧化层，然后把基片装入超高真空蒸发设备。按照上述实施例 1 的方法形成各个薄膜。

具体地，在 Si 基片上外延生长约 7nm 厚的 Ag 层作为金属反射层。然后，把基片温度在约 100 °C 保持约 20 分钟。之后，基片温度降至室温，形成约 5nm 厚 Cu 层作为非磁性层。接着，基片再次加热至约 200 °C，保温约 20 分钟。

在形成 Ag 层和 Cu 层之后进行的热处理对获得平滑表面具有明显效果。之后，基片温度降至室温，然后形成 Ni-Fe/Cu/Co/Cu/Ag 结构。

如此制备的自旋阀膜结构和按与第 1 实施例相同的方式测量的 MR 比示于以下表 2。应予注意，从整个自旋阀膜中省略了包括 Si/Ag(7nm)/Cu(5nm)的公共底层部分。

[表 2]

No.	样品结构	MR 比
B1	Ni-Fe(2nm)/Cu(3nm)/Co(2nm)	3.4%
B2	Ni-Fe(2nm)/Cu(3nm)/Co(2nm)/Ag(5nm)	5.2%
B3	Ni-Fe(2nm)/Cu(3nm)/Co(2nm)/Cu(0.5nm)/Ag(5nm)	6.1%
B4	Ni-Fe(2nm)/Cu(3nm)/Co(2nm)/Cu(0.5nm)/Au(5nm)	5.8%

10

表 2 中，由于其底层是金属反射层所以样品 B1 的 MR 比是普通一例。但是，在自旋阀膜两个表面形成金属反射层时，如图 2B 所示的例子（即样品 B2），MR 比提高。如果在 Co 制磁性层和 Ag 制金属反射层之间插入 Cu 层作为非磁性层，则 MR 比进一步提高（即样品 B3）。应予注意，可以在自旋阀膜的各个表面上形成不同材料或不同厚度的金属反射层。例如，在样品 B4 中，金属反射层之一可以是在硅基片上外延生长的银层，而另一金属反射层可以是金层。

15

实施例 3

通过使用六个靶的 RF 磁控管溅射设备，经过厚度约为 3nm 的 Ta 底层，在水冷玻璃基片上制备图 4A 所示类型的磁致电阻器件。按各种方式改变如图 4A 所示金属反射层的组成，制备各种器件，按与第 1 实施例相同的方式测量 MR 比。结果示于以下表 3（其中各合金组成由靶的原子组成比代表）。

20

[表 3]

No.	样品结构	MR 比
C1	$\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(2\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	4.0%
C2	$\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(2\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	3.3%
C3	$\text{Ag}(1\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(2\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	5.2%
C4	$\text{Ag}(1\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(2\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	6.1%
C5	$\text{Au}(1\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(2\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	5.8%
C6	$\text{Bi}(1\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(2\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	5.1%
C7	$\text{Sn}(1\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(2\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	4.8%
C8	$\text{Pb}(1\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(2\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	5.2%

正如从表 3 可知, 本发明的自旋阀器件 (即样品 C3-C8) 的 MR 比大于传统例 (即样品 C1 和 C2)。Au、Ag、Bi、Sn 或 Pb 适合用做金属反射层的材料。这些材料中, 金和银特别适合, 银尤为适合。

接着, 采用本发明的样品 C3 和 C4 和传统样品 C1 作为 MR 器件部分, 形成图 6 所示类型的 MR 磁头, 评价 MR 磁头的性能。此时, 基片由 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ 制成, 上下屏蔽 10 和 15 由 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 合金制成, 硬偏磁部分 12 由 Co-Pt 合金制成, 引线部分 13 由 Au 制成。此外, 按如下方式确定各向异性, 即软磁层的易磁化轴方向和从反铁磁性层接受了交换各向异性的磁性层的易磁化轴方向, 分别垂直和平行于待检测信号磁场的方向。

在此方法中, 淀积磁性层时, 利用永磁体在膜内期望施加各向异性的方向上施加磁场。当通过对这些磁头施加约 200Oe 的 AC 信号磁场, 测量这些 MR 磁头的输出时, 本发明的 MR 磁头 (积样品 C3 和 C4) 的输出, 比采用样品 C1 的传统 MR 磁头相比分别约大 30% 和 60%。

实施例 4

通过使用六个靶的 RF 磁控管溅射设备, 按与第 3 实施例相同的方式, 在水冷玻璃基片上制备图 4B 所示类型的磁致电阻器件。按与第 1 实施例相同的方式测量 MR 比。结果示于以下表 4-1 (其中各合金组成由靶的原子组成比代表)。

5 [表 4-1]

No.	样品结构	MR 比
D1	NiO(50nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)	4.0%
D2	NiO(50nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Ag(3nm)	5.5%
D3	NiO(50nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(1nm)	3.3%
D4	NiO(50nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(1nm)/Ag(3nm)	6.3%

正如从表 4-1 可知, 采用金属反射层的本发明的自旋阀器件 (即样品 D2 和 D4) 的 MR 比大于传统自旋阀膜例 (即样品 D1 和 D3)。

10 按与表 4-1 所示样品整体相同的方式, 在反铁磁性层上制备包括金属反射层的自旋阀膜。

[表 4-2]

No.	样品结构	MR 比
D5	Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	3.3%
15 D6	Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Ag(1nm)	4.0%
D7	Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)	2.4%
D8	Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)/Ag(1nm)	4.8%

20 正如从表 4-2 可知, 采用金属反射层的本发明自旋阀器件 (即样品 D6 和 D8) 的 MR 比大于传统例的自旋阀膜 (即样品 D5 和 D7)。

接着, 采用本发明的样品 D2 和 D4 和传统样品 D1 作为 MR 器件部分, 形成图 6 所示类型的 MR 磁头, 评价 MR 磁头的性能。此时, 基片由 Al₂O₃-TiC 制成,

上下屏蔽 10 和 15 由 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 合金制成, 作为绝缘膜的 NiO 膜 (约 50nm) 与器件部分共同用于下屏蔽气隙 11, 上屏蔽气隙 14 由 Al_2O_3 制成, 硬偏磁部分 12 由 Co-Pt 合金制成, 引线部分 13 由 Au 制成。此外, 按如下方式确定各向异性, 即软磁层的易磁化轴方向和从反铁磁性层接受了交换各向异性的磁性层的易磁化轴方向, 分别垂直和平行于待检测信号磁场的方向。

在此方法中, 淀积磁性层时, 利用永磁体在膜内期望施加各向异性的方向上施加磁场。当通过对这些磁头施加约 200Oe 的 AC 信号磁场, 测量这些 MR 磁头的输出时, 本发明的 MR 磁头 (即样品 D2 和 D4) 的输出, 比采用样品 D1 的传统 MR 磁头相比分别约大 35% 和 50%。

10 实施例 5

通过使用六个靶的 RF 磁控管溅射设备, 在水冷玻璃基片上制备图 5 所示类型的磁致电阻器件。按与第 1 实施例相同的方式测量 MR 比。结果示于以下表 5 (其中各合金组成由靶的原子组成比代表)。

15 [表 5]

No.	样品结构	MR 比
E1	$\text{NiO}(50\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	6%
20 E2	$\text{NiO}(50\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Ag}(3\text{nm})$	8.3%
E3	$\text{NiO}(50\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})$	4.4%
25 E4	$\text{NiO}(50\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ag}(3\text{nm})$	9.9%

正如从表 5 可知, 采用金属反射层的本发明自旋阀器件 (即样品 E2 和 E4) 的 MR 比大于传统例的自旋阀膜 (即样品 E1 和 E3)。

接着, 采用本发明的样品 E2 和 E4 和传统样品 E1 作为 MR 器件部分, 形成图 6 所示类型的 MR 磁头, 评价 MR 磁头的性能。此时, 基片由 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ 制成,

上下屏蔽 10 和 15 由 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 合金制成, 作为绝缘膜的 NiO 膜 (约 50nm) 与器件部分共同用于下屏蔽气隙 11, 上屏蔽气隙 14 由 Al_2O_3 制成, 硬偏磁部分 12 由 Co-Pt 合金制成, 引线部分 13 由 Au 制成。此外, 按如下方式确定各向异性, 即软磁层的易磁化轴方向和从反铁磁性层接受了交换各向异性的磁性层的易磁化轴方向, 分别垂直和平行于待检测信号磁场的方向。

在此方法中, 淀积磁性层时, 利用永磁体在膜内期望施加各向异性的方向上施加磁场。当通过对这些磁头施加约 200Oe 的 AC 信号磁场, 测量这些 MR 磁头的输出时, 本发明的 MR 磁头 (即样品 E2 和 E4) 的输出, 比采用样品 E1 的传统 MR 磁头相比分别约大 40% 和 80%。

10 实施例 6

通过使用六个靶的 RF 磁控管溅射设备, 在水冷玻璃基片上制备表 6 所示类型的磁致电阻器件。按与第 1 实施例相同的方式测量 MR 比。结果示于以下表 6 (其中各合金组成由靶的原子组成比代表)。

15 [表 6]

No.	样品结构	MR 比
F1	$\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	4.5%
20 F2	$\text{Ag}(3\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Ag}(3\text{nm})$	5.5%
F3	$\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})$	3.9%
25 F4	$\text{Ag}(3\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ag}(3\text{nm})$	7.1%

正如从表 6 可知, 采用金属反射层的本发明自旋阀器件 (即样品 F2 和 F4) 的 MR 比大于传统例的自旋阀膜 (即样品 F1 和 F3)。

实施例 7

30 通过使用六个靶的 RF 磁控管溅射设备, 在水冷玻璃基片上制备图 4B 所示类

型的磁致电阻器件。按与第 1 实施例相同的方式测量 MR 比。结果示于以下表 7
(其中各合金组成由靶的原子组成比代表)。

[表 7]

No.	样品结构	MR 比
G1	$\text{Fe}_2\text{O}_3(50\text{nm})/\text{Co}(5\text{nm})/\text{Cu}(2.2\text{nm})/\text{Ni}_{0.3}\text{Co}_{0.6}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})$	3.8%
G2	$\text{Fe}_2\text{O}_3(50\text{nm})/\text{Co}(5\text{nm})/\text{Cu}(2.2\text{nm})/\text{Ni}_{0.3}\text{Co}_{0.6}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Ag}(2\text{nm})$	5.4%
G3	$\text{Fe}_2\text{O}_3(50\text{nm})/\text{Co}(5\text{nm})/\text{Cu}(2.2\text{nm})/\text{Ni}_{0.3}\text{Co}_{0.6}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})$	3.1%
G4	$\text{Fe}_2\text{O}_3(50\text{nm})/\text{Co}(5\text{nm})/\text{Cu}(2.2\text{nm})/\text{Ni}_{0.3}\text{Co}_{0.6}\text{Fe}_{0.1}(5\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ag}(2\text{nm})$	6.2%
G5	$\text{Fe}_2\text{O}_3(50\text{nm})/\text{Co}(5\text{nm})/\text{Cu}(2.2\text{nm})/\text{Ni}_{0.3}\text{Co}_{0.6}\text{Fe}_{0.1}(2\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ni}_{0.3}\text{Co}_{0.6}\text{Fe}_{0.1}(2\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ag}(2\text{nm})$	6.0%

正如从表 7 可知, 采用金属反射层的本发明自旋阀器件(即样品 G2、G4 和 G5)的 MR 比大于传统例的自旋阀膜(即样品 G1 和 G3)。与样品 G4 相比, 样品 G5 呈现基本相同的 MR 比, 但是样品 G5 的软磁层的矫顽力从约 100Oe 下降至约 50Oe。通过按此方式形成通过非磁性层堆叠的两层或更多层软磁层, 可以改善其软磁性能, 提高磁场敏感性。

接着, 采用本发明的样品 G2 和 G4 和传统样品 G1 作为 MR 器件部分, 形成图 6 所示类型的 MR 磁头, 评价 MR 磁头的性能。此时, 基片由 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ 制成, 上下屏蔽 10 和 15 由 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 合金制成, 作为绝缘膜的 Fe_2O_3 膜(约 50nm)与器件部分共同用于下屏蔽气隙 11, 上屏蔽气隙 14 由 Al_2O_3 制成, 硬偏磁部分 12 由 Co-Pt 合金制成, 引线部分 13 由 Au 制成。此外, 按如下方式确定各向异性, 即软磁层的易磁化轴方向和从反铁磁性层接受了交换各向异性的磁性层的易磁化轴方向, 分别垂直和平行于待检测信号磁场的方向。

在此方法中, 淀积磁性层时, 利用永磁体在膜内期望施加各向异性的方向上施加磁场。当通过对这些磁头施加约 200Oe 的 AC 信号磁场, 测量这些 MR 磁头的输出时, 本发明的 MR 磁头(即样品 G2 和 G4)的输出, 比采用样品 G1 的传统 MR 磁头相比分别约大 30%和 45%。

实施例 8

通过使用六个靶的 RF 磁控管溅射设备, 在水冷玻璃基片上制备图 5 所示类

型的磁致电阻器件。按与第1实施例相同的方式测量MR比。结果示于以下表8（其中各合金组成由靶的原子组成比代表）。

[表8]

No.	样品结构	MR 比
5	H1 Fe ₂ O ₃ (50nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (4nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (6nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.5} Fe _{0.5} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	5.5%
	H2 Fe ₂ O ₃ (50nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (4nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (6nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.5} Fe _{0.5} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Ag(3nm)	7.5%
10	H3 Fe ₂ O ₃ (50nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (4nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (6nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.5} Fe _{0.5} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)	4.1%
	H4 Fe ₂ O ₃ (50nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (4nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (6nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.5} Fe _{0.5} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)/Ag(3nm)	9.0%
15	H5 Fe ₂ O ₃ (50nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (4nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (1.5nm)/Cu(0.8nm)/Ni _{0.5} Fe _{0.5} (1.5nm)/Cu(0.8nm)/Ni _{0.5} Fe _{0.5} (1.5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.5} Fe _{0.5} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)/Ag(2nm)	9.2%

正如从表8可知，采用金属反射层的本发明自旋阀器件（即样品H2、H4和H5）的MR比大于传统例的自旋阀膜（即样品H1和H3）。与样品H4相比，样品H5呈现基本相同的MR比，但是样品H5的软磁层的矫顽力从约90Oe下降至约30Oe。通过按此方式形成通过非磁性层堆叠的两层或更多层软磁层，可以改善其软磁性能，提高磁场敏感性。

接着，采用本发明的样品H2和H4和传统样品H1作为MR器件部分，形成图6所示类型的MR磁头，评价MR磁头的性能。此时，基片由Al₂O₃-TiC制成，上下屏蔽10和15由Ni_{0.8}Fe_{0.2}合金制成，作为绝缘膜的Fe₂O₃膜（约50nm）与器件部分共同用于下屏蔽气隙11，上屏蔽气隙14由Al₂O₃制成，硬偏磁部分12由Co-Pt合金制成，引线部分13由Au制成。

此外，按如下方式确定各向异性，即软磁层的易磁化轴方向和从反铁磁性层接受了交换各向异性的磁性层的易磁化轴方向，分别垂直和平行于待检测信号磁场的方向。

在此方法中，淀积磁性层时，利用永磁体在膜内期望施加各向异性的方向上施加磁场。当通过对这些磁头施加约200Oe的AC信号磁场，测量这些MR磁头

的输出时, 本发明的 MR 磁头 (即样品 H2 和 H4) 的输出, 比采用样品 H1 的传统 MR 磁头相比分别约大 30% 和 70%。

实施例 9

通过 RF 溅射法在蓝宝石 (11-20) 基片上形成厚约 100nm 的 α - Fe_2O_3 膜。之后把样品输送至超高真空蒸发设备, 通过 RHEED 分析。结果, 发现在与基片相同的取向已经外延生长了 α - Fe_2O_3 膜。接着, 在超高真空蒸发设备中制备 Co、Cu、Ni-Fe、Cu 和 Ag 膜, 按与实施例 1 相同的方式评价其 MR 性能。结果示于以下表 9。

[表 9]

No.	样品结构	MR 比
11	$\text{Fe}_2\text{O}_3(100\text{nm})/\text{Co}(3\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})$	5.1%
12	$\text{Fe}_2\text{O}_3(100\text{nm})/\text{Co}(3\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Ag}(3\text{nm})$	7.7%
13	$\text{Fe}_2\text{O}_3(100\text{nm})/\text{Co}(3\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})$	3.4%
14	$\text{Fe}_2\text{O}_3(100\text{nm})/\text{Co}(3\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ag}(3\text{nm})$	9.2%
15	$\text{Fe}_2\text{O}_3(100\text{nm})/\text{Co}(3\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Co}(0.6\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ag}(3\text{nm})$	11.1%
16	$\text{Fe}_2\text{O}_3(100\text{nm})/\text{Co}(3\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(0.6\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Co}(0.6\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})/\text{Ag}(3\text{nm})$	12.1%
17	$\text{Fe}_2\text{O}_3(100\text{nm})/\text{Co}(3\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(5\text{nm})/\text{Co}(0.6\text{nm})/\text{Cu}(1\text{nm})$	3.3%

20

正如从表 9 可知, 采用金属反射层的本发明自旋阀器件 (即样品 12 和 14) 的 MR 比大于传统例的自旋阀膜 (即样品 11 和 13)。此外, 从本发明的实例 (即样品 15 和 16) 结果还可清楚可见, 通过非磁性层与磁性层之间插入中间磁性层可进一步提高 MR 比。另一方面, 传统例中 (即样品 17), 与样品 13 相比, MR 比很难改变。这大概是因为在 Cu 表面上很难产生电子镜面散射, 所以在 Co/Cu 界面很难提高与自旋相关的散射。

在本发明的实例 (即样品 15 和 16) 中, 中间磁性层由 Co 制成。但是, 使用富 Co 的 Co-Fe 合金也可实现相同的效果。

实施例 10

按与实施例 9 相同的方式, 通过 RF 溅射法在蓝宝石 (11-20) 基片上外延

30

生长厚约 50nm 的 α - Fe_2O_3 膜。接着,利用相同的 RF 溅射法制备 Co、Cu、Ni-Fe、Cu、Ag 和 Ir-Mn 膜,按与实施例 1 相同的方式评价其 MR 性能。结果示于以下表 10。

[表 10]

5

No.	样品结构	MR 比
J1	$\text{Fe}_2\text{O}_3(50\text{nm})/\text{Co}(4\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(6\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})$	5.8%
J2	$\text{Fe}_2\text{O}_3(50\text{nm})/\text{Co}(4\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(6\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Ag}(3\text{nm})$	8.2%
J3	$\text{Fe}_2\text{O}_3(50\text{nm})/\text{Co}(4\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(6\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Cu}(1.5\text{nm})$	4.9%
J4	$\text{Fe}_2\text{O}_3(50\text{nm})/\text{Co}(4\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(6\text{nm})/\text{Cu}(2\text{nm})/\text{Co}(5\text{nm})/\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}(8\text{nm})/\text{Cu}(1.5\text{nm})/\text{Ag}(3\text{nm})$	10.3%

10

15

正如从表 10 可知,采用金属反射层的本发明自旋阀器件(即样品 J2 和 J4)的 MR 比大于传统例的自旋阀膜(即样品 J1 和 J3)。

从以上说明可知,本发明的自旋阀式磁致电阻器件可以获得比传统自旋阀式磁致电阻器件大的 MR 比。于是,如果本发明的磁致电阻器件用于 MR 磁头,则可获得大的重放输出。

20

在不脱离本发明的范围和精髓的条件下,本领域的技术人员将可了解和易于做出各种其他改进。因此,权利要求书的范围并不倾向限制于上述说明,而是应对权利要求书做广泛解释。

图1A

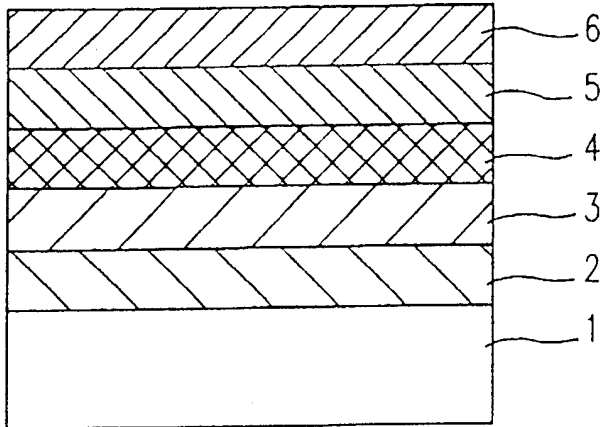


图1B

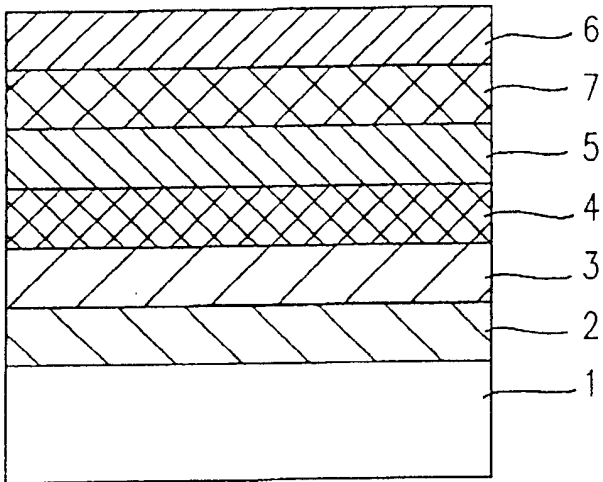


图1C

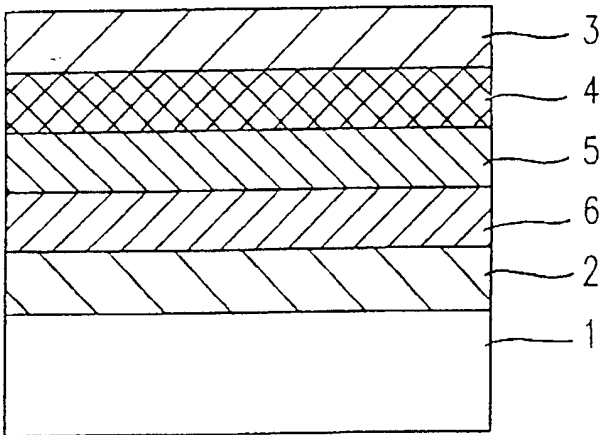


图2A

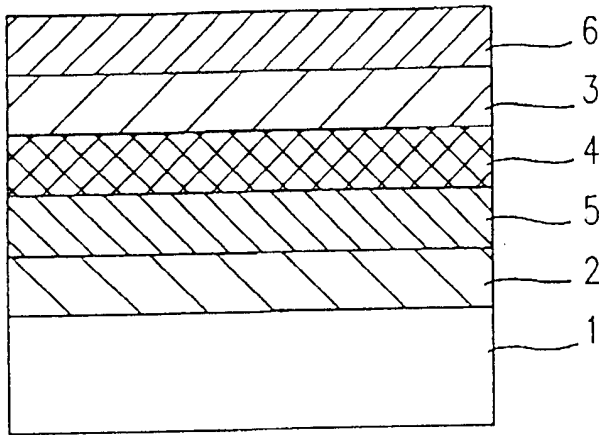


图2B

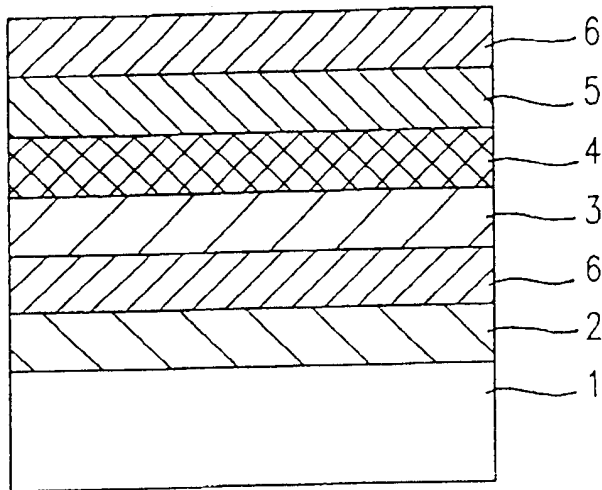


图3

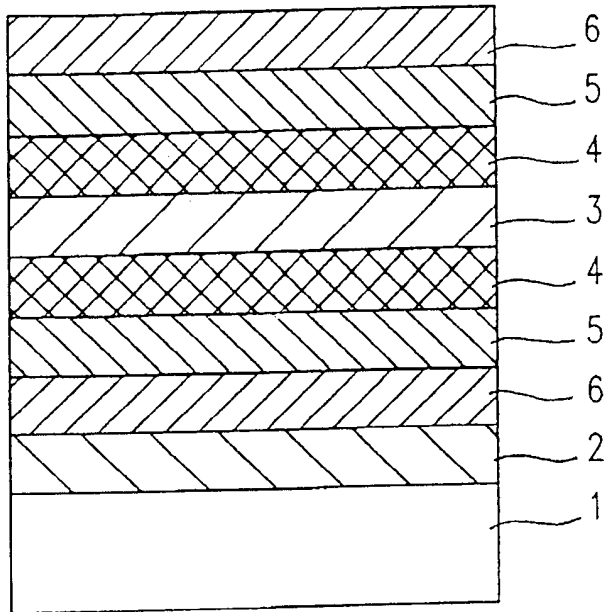


图4A

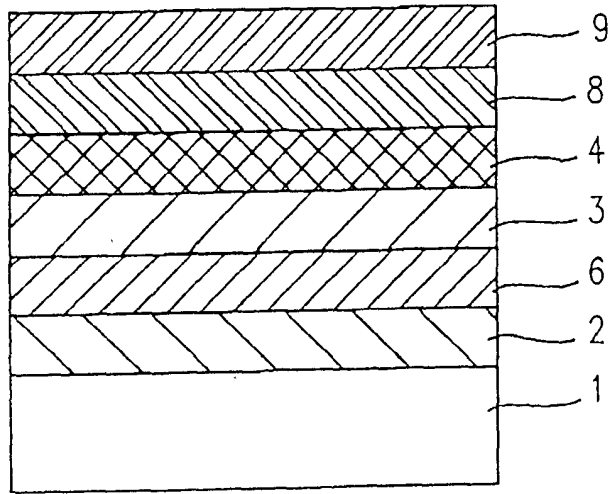


图4B

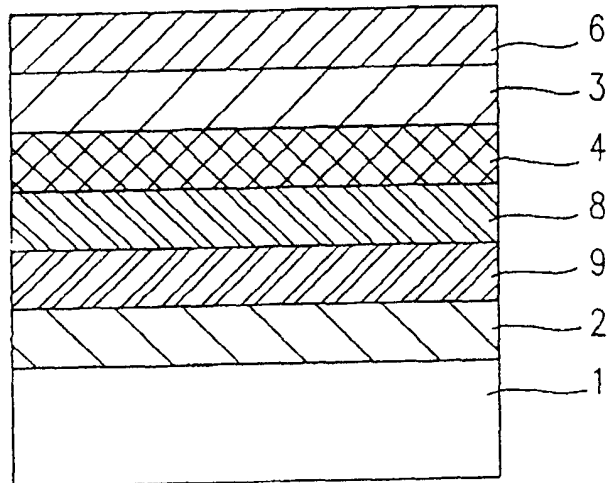


图5

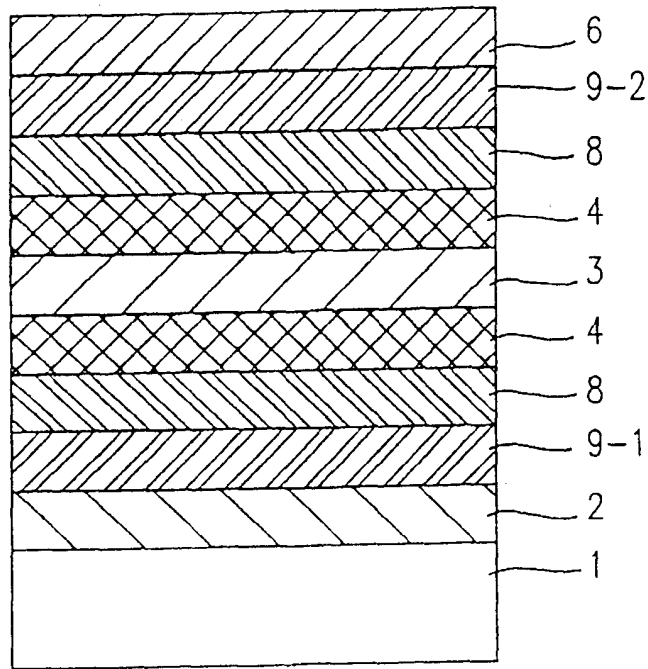


图6

