

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01F 10/12

G11B 5/31 G11C 11/15



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95106521.1

[45] 授权公告日 2003 年 10 月 29 日

[11] 授权公告号 CN 1126127C

[22] 申请日 1995.5.2 [21] 申请号 95106521.1

[30] 优先权

[32] 1994. 5. 2 [33] JP [31] 93257/1994

[32] 1994. 6. 7 [33] JP [31] 125072/1994

[32] 1994. 6. 30 [33] JP [31] 149229/1994

[32] 1994. 7. 28 [33] JP [31] 176822/1994

[32] 1994. 7. 29 [33] JP [31] 178078/1994

[32] 1994. 8. 9 [33] JP [31] 187484/1994

[32] 1994. 8. 12 [33] JP [31] 190457/1994

[32] 1994. 12. 7 [33] JP [31] 303615/1994

[32] 1994. 12. 16 [33] JP [31] 313147/1994

[32] 1995. 3. 10 [33] JP [31] 51630/1995

[32] 1995. 3. 13 [33] JP [31] 53067/1995

[71] 专利权人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府门真市

[72] 发明人 榊间博 入江庸介 里见三男

川分康博

[56] 参考文献

EP0548841A 1993.06.30

EP0578196A1 1994.01.12 H01L43/10

EP0594243A2 1994.04.27 G11B5/39

US3382448A 1968.05.07

US5173873A 1992.12.22

审查员 应志红

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

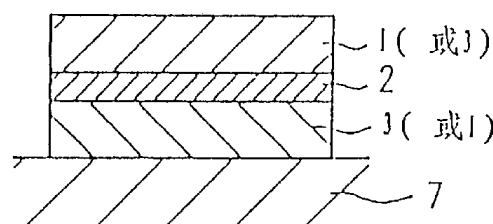
代理人 吴大建

权利要求书 8 页 说明书 66 页 附图 29 页

[54] 发明名称 磁阻效应器件以及使用这种器件的器件

[57] 摘要

本发明的磁阻效应器件包括：基片；以及在基片上形成的多层结构。多层结构包括硬磁膜，软磁膜，以及用来把硬磁膜和软磁膜隔开的非磁金属膜，硬磁膜的磁化曲线具有好的矩形特性，硬磁膜的易磁化轴的方向基本上和要被检测的磁场的方向一致。



ISSN 1008-4274

1. 一种磁阻效应器件, 包括:
基片; 以及
5 在基片上形成的多层结构, 它包括含有至少一种 CoPt、CoTaCr 和 CoPtCr 的硬磁膜、软磁膜以及用来隔开硬磁膜和软磁膜的非磁膜,
其中硬磁膜的易磁化轴线的方向基本上和要被检测的磁场的方向一致。
2. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中该磁阻效应器件包括多个
10 在基片上形成的多层结构。
3. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中该磁阻效应器件进一步包括被插在硬磁膜的两面或一面上的额外的磁膜, 该额外的磁膜的厚度范围为 0.1 到 2nm, 并且该磁膜包括从 Co、Ni 和 Fe 中选取的至少一种元素作为主要成分。
- 15 4. 如权利要求 3 的磁阻效应器件, 其中该磁阻效应器件包括多个在基片上形成的多层结构。
5. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中还有一额外的磁膜被插入在硬磁膜和非磁金属膜之间以及软磁膜和非磁金属膜之间的至少一个界面上, 该额外的磁膜的厚度范围为 0.1 到 1nm, 并且以 Co 为主要成
20 分。
6. 如权利要求 5 的磁阻效应器件, 其中多层结构的结构是硬磁膜、软磁膜、非磁金属膜, 以及额外的磁膜被迭放多次。
7. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中软磁膜包括 $\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Fe}_z$ 为主要成分, 其原子成分比的范围是, X 为 0.6 到 0.9, Y 为 0 到 0.4, Z
25 为 0 到 0.3。
8. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中软磁膜包括 $\text{Ni}_{x'}\text{Co}_{y'}\text{Fe}_{z'}$ 为主要成分, 其原子成分比的范围是, X' 为 0 到 0.4, Y' 为 0.2 到 0.95,

Z' 为 0 到 0.5。

9. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中软磁膜是非晶形磁膜, 该非晶形磁膜包括 CoFeB。

10. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中非磁金属膜由从 Cu、Ag 和 Au 中选取的材料制成。

11. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中非磁金属膜由 Cu 制成。

12. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中非磁金属膜的厚度范围是 1nm 到 10nm。

13. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中硬磁膜包括 Co 和 M 为主要成分, M 代表 Pt 或从包括 Pt、Cr 和 Ta 的族中选取的两种或多种元素。

14. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中硬磁膜由 CoPt 材料制成。

15. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中软磁膜包括 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x})_x\text{Fe}_{1-x}$ 作为主要成分, 其中原子成分比的范围是: X 为 0.6 到 1.0, 以及 X' 为 0.7 到 1.0。

16. 如权利要求 15 的磁阻效应器件, 其中非磁金属膜由从 Cu、Ag 和 Au 中选取的材料制成。

17. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中在基片上形成的多层结构中, 硬磁膜主要由 CoPt 制成, 软磁膜主要由 NiFe 或 NiFeCo 制成, 非磁金属膜主要由 Cu 制成并且其厚度为 2 到 10nm, 多层结构被外延地形成在基片上, 使得构成多层膜的每个膜的[100]方向处于垂直于一个由硬磁膜和非磁膜的界面限定的平面的方向。

18. 如权利要求 17 的磁阻效应器件, 其中基片为 Si(100)单晶基片, 多层结构通过主要由 Cu 制成的垫层形成在基片上。

19. 如权利要求 1 的磁阻效应器件, 其中在形成在基片上的多层结构中, 硬磁膜主要由 CoPt 制成, 软磁膜主要由 NiFe 或 NiFeCo 制成, 非磁金属膜包括主要由 Cu 制成的厚度为 2 到 10nm 的第一非磁金属膜, 和插进第一非磁金属膜中的主要由 Ag 或 Au 制成的厚度为 0.1 到 0.4nm

的第二非磁金属膜。

20. 如权利要求 19 的磁阻效应器件，其中的多层结构外延地形成在基片上，使得构成多层膜的每个膜的[100]方向处于和每个膜的膜平面垂直的方向，要被检测的磁场的方向基本上是非磁金属膜的[011]方向。

21. 如权利要求 20 的磁阻效应器件，其中基片为 Si(100)单晶基片，多层结构通过主要由 Cu 制成的垫层形成在基片上。

22. 如权利要求 1 的磁阻效应器件，其中软磁膜主要由 NiFe 或 NiFeCo 制成，至少两层连续的软磁膜迭放，每层膜的厚度为 1 到 10nm 之间，并且其间插有第二非磁金属膜，

其中硬磁膜主要由 CoPt 制成，硬磁膜和连续的软磁膜迭放，其间插有非磁金属膜。

23. 如权利要求 22 的磁阻效应器件，其中非磁金属膜主要由 Cu 制成。

24. 如权利要求 22 的磁阻效应器件，其中在连续的软磁膜之间的非磁金属膜由主要由 Cu 制成的单膜构成，在连续的软磁膜和硬磁膜之间的非磁金属膜主要由 Cu 制成的膜且其中插入 Ag 或 Au 膜构成。

25. 如权利要求 22 的磁阻效应器件，其中的多层结构外延地形成在基片上，使得构成多层结构的每个膜的[100]方向处于垂直于每个膜的膜平面方向，要被检测的磁场方向基本上是非磁金属膜的[011]方向。

26. 如权利要求 22 的磁阻效应器件，其中在连续的软磁膜之间的非磁金属膜和在连续的硬磁膜之间的非磁金属膜主要由 Cu 制成的单膜，在连续的软磁金属膜和硬磁金属膜之间的非磁金属膜由主要由 Cu 制成的膜并在其中插入 Ag 或 Au 膜构成。

27. 如权利要求 1 的磁阻效应器件，其中软磁膜主要由 NiFe 或 NiFeCo 制成，每个软磁膜的厚度范围为 1 到 10nm，至少两个软磁膜连续迭放，其间插有第二非磁金属膜，

其中所述硬磁膜主要由 CoPt 制成，其厚度范围为 1 到 10nm，至

少两个硬磁膜连续迭放，其间插有第三非磁金属膜，

其中连续的软磁膜和连续的硬磁膜交替地迭放，其间插有非磁金属膜，在软磁膜和硬磁膜之间的非磁金属膜的厚度大于连续的软磁膜之间的第二非磁金属膜的厚度或连续的硬磁膜之间的第三非磁金属膜的厚度。

5 28. 如权利要求 27 的磁阻效应器件，其中非磁金属膜主要由 Cu 制成。

29. 如权利要求 27 的磁阻效应器件，其中多层结构外延地在基片上形成，使得组成多层结构的每个膜的[100]方向处于垂直于每个膜的膜平面方向，要被检测的磁场方向基本上是非磁金属膜的[011]方向。

10 30. 如权利要求 1 的磁阻效应器件，其中硬磁膜的矩形系数是 0.7 或更多。

31. 如权利要求 1 的磁阻效应器件，其中通过多层结构的电流的方向垂直于多层结构的膜平面的方向。

15 32. 如权利要求 1 的磁阻效应磁头，其中还有额外的磁膜被插入在硬磁膜和非磁金属膜之间以及软磁膜和非磁金属之间的至少一个界面上，该额外的磁膜的厚度范围为 0.1 到 1nm，并且该额外的磁膜包括 Co 作为主要成分。

33. 一种磁阻效应型磁头，包括：
20 基片；

在基片上形成的多层结构，多层结构包括含有至少一种 CoPt、CoTaCr 和 CoPtCr 的硬磁膜，软磁膜，以及用来把硬磁膜和软磁膜分开的非磁膜；以及

用来引导来自磁介质的信号磁场到软磁膜的轭，
25 其中硬磁膜的容易磁化的轴线和由轭引导的信号磁场的方向一致。

34. 如权利要求 33 的磁阻效应磁头，其中该磁阻效应磁头包括多个在基片上形成的多层结构。

35. 如权利要求 33 的磁阻效应磁头, 其中该磁阻效应磁头进一步包括被插入在硬磁膜和非磁金属膜之间以及软磁膜和非磁金属之间的至少一个界面上的额外的磁膜, 该额外的磁膜的厚度范围为 0.1 到 1nm, 并且该额外的磁膜包括从 Co、Ni 和 Fe 中选取的至少一种元素作为主要成分。

36. 如权利要求 35 的磁阻效应型磁头, 其中多层结构中硬磁膜、软磁膜、非磁金属膜以及插入的磁膜被迭放多次。

37. 如权利要求 33 的磁阻效应型磁头, 其中该磁阻效应型磁头包括多个在基片上形成的多层结构。

38. 如权利要求 33 的磁阻效应型磁头, 其中软磁膜包括 $\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Fe}_z$ 为其主要成分, 其原子成分的范围是: X 为 0.6 到 0.9, Y 是 0 到 0.4, Z 是 0 到 0.3。

39. 如权利要求 33 的磁阻效应型磁头, 其中软磁膜包括 $\text{Ni}_{x'}\text{Co}_{y'}\text{Fe}_{z'}$ 为其主要成分, 其原子成分比的范围是: x' 为 0 到 0.4, y' 是 0.2 到 0.95, z' 为 0 到 0.5。

40. 如权利要求 33 的磁阻效应型磁头, 其中软磁膜是非晶形磁膜, 该非晶形磁膜包括 CoFeB。

41. 如权利要求 33 的磁阻效应型磁头, 其中非磁金属膜由从 Cu、Ag 和 Au 中选取的材料制成。

42. 如权利要求 41 的磁阻效应型磁头, 其中软磁膜包括 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x})_x\text{Fe}_{1-x}$ 作为主要成分, 其原子成分的范围是: X 为 0.6 到 1.0, x' 为 0.7 到 1.0。

43. 如权利要求 42 的磁阻效应型磁头, 其中非磁金属膜由从 Cu、Ag 和 Au 中选取的材料制成。

44. 如权利要求 33 的磁阻效应型磁头, 其中非磁金属膜由 Cu 制成。

45. 如权利要求 33 的磁阻效应型磁头, 其中非磁金属膜的厚度范围为 1nm 到 10nm。

46. 如权利要求 33 的磁阻效应型磁头, 其中磁硬膜包括 Co 和 M 为其主要成分, M 代表 Pt 或从包括 Pt、Cr 和 Ta 族中选取的两种或多种元素。

47. 如权利要求 33 的磁阻效应型磁头, 其中硬磁膜由 CoPt 材料制成。

48. 如权利要求 33 的磁阻效应型磁头, 其中软磁膜包括 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x})_x\text{Fe}_{1-x}$ 作为主要成分, 其原子成分的范围是: X 为 0.6 到 1.0, X' 为 0.7 到 1.0。

49. 如权利要求 48 的磁阻效应型磁头, 其中非磁金属膜由从 Cu、Ag 和 Au 中选取的材料制成。

50. 如权利要求 33 所述的磁阻效应型磁头, 其中硬磁膜的矩形系数为 0.7 或更多。

51. 如权利要求 33 所述的磁阻效应型磁头, 其中通过多层结构的电流的方向基本上垂直于多层结构的膜表面。

52. 如权利要求 34 的磁阻效应型磁头, 其中在基片上形成的多层结构中, 硬磁膜主要由 CoPt 制成, 软磁膜主要由 NiFe 或 NiFeCo 制成, 非磁金属膜主要由 Cu 制成并且其厚度为 2 到 10nm, 多层结构被外延地形成在基片上, 使得构成多层膜的每个膜的[100]方向处于垂直于一个由硬磁膜和非磁膜的界面限定的平面的方向。

53. 一种磁阻效应器件, 包括:

基片; 以及

在基片上形成的多层结构, 它包括硬磁膜、含有 CoFeB 的软磁膜以及用来隔开硬磁膜和软磁膜的非磁膜,

其中硬磁膜的易磁化轴线的方向基本上和要被检测的磁场的方向一致。

54. 一种磁阻效应器件, 包括:

基片; 以及

在基片上形成的多层结构, 它包括硬磁膜、含有 CoFeB 的软磁膜以及用来隔开硬磁膜和软磁膜的非磁膜,

用来引导来自磁介质的信号磁场到软磁膜的轭，
其中硬磁膜的容易磁化的轴线和由轭引导的信号磁场的方向一致。

55. 一种磁阻效应器件，包括：

5 基片；以及

在基片上形成的多层结构，它包括含有 $\text{Co}_Y\text{Fe}_{1-Y}$ ($0.3 < Y < 0.7$) 的硬磁膜、软磁膜以及用来隔开硬磁膜和软磁膜的非磁膜，

其中硬磁膜的易磁化轴线的方向基本上和要被检测的磁场的方向一致。

10 56. 如权利要求 55 的磁阻效应型磁头，其中软磁膜包括 $\text{Ni}_X\text{Fe}_{1-X}$ 或 $(\text{Ni}_X\text{Co}_{1-X})_X\text{Fe}_{1-X}$ 作为主要成分，硬磁膜包括 $\text{Co}_Y\text{Fe}_{1-Y}$ 为其主要成分，其原子成分的范围是：X 为 0.6 到 1.0，X' 为 0.7 到 1.0，Y 是 0.3 到 0.7。

57. 如权利要求 56 的磁阻效应型磁头，其中非磁金属膜由从 Cu、Ag 和 Au 中选取的材料制成。

15 58. 一种磁阻效应器件，包括：

基片；以及

在基片上形成的多层结构，它包括含有 $\text{Co}_Y\text{Fe}_{1-Y}$ ($0.3 < Y < 0.7$) 的硬磁膜、软磁膜以及用来隔开硬磁膜和软磁膜的非磁膜，

用来引导来自磁介质的信号磁场到软磁膜的轭，

20 其中硬磁膜的容易磁化的轴线和由轭引导的信号磁场的方向一致。

59. 一种磁阻效应器件，包括：

基片；以及

25 在基片上形成的多层结构，它包括含有至少一种 CoPt、CoFe、CoTaCr 和 CoPtCr 的硬磁膜、软磁膜以及用来隔开硬磁膜和软磁膜的非磁膜，

其中硬磁膜的易磁化轴线的方向基本上和要被检测的磁场的方向一致，其前提是磁阻效应器件不包括抗铁磁层。

60. 一种磁阻效应器件, 包括:

基片; 以及

在基片上形成的多层结构, 它包括含有至少一种 CoPt、CoFe、CoTaCr 和 CoPtCr 的硬磁膜、软磁膜以及用来隔开硬磁膜和软磁膜的

5 非磁膜,

用来引导来自磁介质的信号磁场到软磁膜的轨,

其中硬磁膜的容易磁化的轴线和由轨引导的信号磁场的方向一致, 其前提是磁阻效应器件不包括抗铁磁层。

磁阻效应器件以及 使用这种器件的器件

本发明涉及磁阻效应器件，并且还涉及使用这种磁阻效应器件的磁头、记忆器件和放大器件。

目前已经出现了使用磁阻效应器件的磁阻性传感器(以下称为MR传感器)和磁阻性磁头(以下称为MR头)。术语"磁阻效应元件"表示一种按照外部施加的磁场改变电阻值的器件。磁阻效应器件的特性通常是由磁阻的变化比(以下简称MR比)来表示的。MR比由下式所限定：

$$\text{MR比}(\%) = (R(\text{最大}) - R(\text{最小})) / R(\text{最小}) \times 100$$

其中的R(最大)和R(最小)表示对磁阻效应器件施加磁场时，磁阻效应器件的电阻的最大值和最小值。按照惯例，磁阻效应器件的材料主要以 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 的永磁合金作为磁体。在使用这种磁阻效应材料时，MR比大约为2.5%。为了制造灵敏度较高的MR传感器和MR头，需要有具备较高MR比的磁阻性器件。近来已经发现了一种[Fe/Cr]和[Co/Ru]人造多层，其中的抗铁磁性耦合是借助于一种在铁磁场(1至10koe)中呈现出巨大磁阻效应的金属非磁性薄膜来实现的，例如Cr和Ru(参见Physical Review Letter Vol.61,P.2472,1988;以及Physical Review Letter Vol.64,P.2304,1990)。然而，这些人

造多层需要有几千奥斯特至几十koe的磁场才能实现大的MR变化,因此,这种人造多层在实践中不能用于磁头等器件。

人们还发现,采用具有不同矫顽力的磁性薄膜Ni-Fe和Co的[Ni-Fe/Cu/Co]人造多层,并且用Cu的非磁性金属薄膜进行隔离,使磁性薄膜没有磁耦合,这种人造多层呈现出GMR效应,并且迄今为止已在室温下施加0.5koe磁场的条件下获得了MR比为8%的人造多层(参见Journal of Physical Society of Japan, Vol.59, P.3061, 1990)。然而,从图11所示的这种人造多层的典型MR曲线可以看出,为了实现大的MR变化需要有大体100 Oe的磁场。更有甚之,MR从负磁场到正磁场的变化是不对称的,也就是说MR的线性很差。因此,这种人造多层的特性不适合实际应用。

另外还发现,采用Ni-Fe-Co和Co的磁性薄膜的[Ni-Fe-Co/Cu/Co]和[Ni-Fe-Co/Cu]人造多层具有一种GMR效应,其中的RKKY型抗铁磁耦合是由Cu来实现的,并且迄今已在室温下施加0.5koe的磁场的条件下获得了MR比约为15%的人造多层(参见Technical Report by THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS OF Japan, MR91-9)。从图12所示的这种人造多层的典型MR曲线可以看出,MR从0到正磁场的变化基本上是线性的,因此,这种膜的特性完全可以用于MR传感器。然而,为了获得大的MR变化,需要有大体50 Oe的磁场。有这种特性的膜不适合用于MR磁头,这种磁头需要在20 Oe以下工作,并且最好是更低。

作为一种可以在施加很弱的磁场的条件下工作的膜,已有人提出了一种自旋-开关(Spin-Valve)式膜,在其中把作为抗铁磁材料的Fe-Mn贴到Ni-Fe/Cu/Ni-Fe上(参见Journal of Magnetism and

Magnetic Materials 93,P.101,1991)。从图13 所示的这种类型的典型MR曲线中可以看出,工作磁场实际上很弱,并且具有良好的线性。然而,MR比却小到仅有2%左右,并且Fe-Mn 膜具有不良的耐腐蚀性。Fe-Mn的Né el温度较低,因此,温度变化对器件特性的不利影响很大。

另一方面,作为一种使用磁阻效应的记忆器件,有人已提出了一种采用Ni-Fe(-Co)/TaN/Ni-Fe(-Co)制成的导体部分(传感线) 的记忆器件,在其中作为惯用的MR(磁阻效应)材料的Ni-Fe或Ni-Fe-Co是由TaN覆盖的(参见U.S.P.No.4,754,431和IEEE Trans.Magn. Vol. 27,No.6,1991,PP.5520-5522)。这种记忆器件利用惯用的材料作为MR材料,因此其MR比为2%至3%。因此,这种记忆器件的缺点是,信息读出期间的输出很弱,并且在执行非破坏性读出时具有天然的缺陷。

本发明的磁阻效应器件包括一个基片;设在基片上的一个多层构造,这种多层构造包括一个硬磁性膜,一个软磁性膜, 以及一个用于隔离硬磁性膜和软磁性膜的非磁性金属膜,其中,硬磁性膜的磁化曲线具有良好的矩形特征, 并且硬磁性膜的易磁化轴的方向与被检测的磁场方向基本一致。

在本发明的一个实施例中,多层构造是这样的,其中的硬磁性膜,软磁性膜和非磁性金属膜是多次叠层的。

在本发明的另一实施例中,在硬磁性膜的两面或一面上插入另一个磁性膜。该磁性膜的厚度范围是0.1至2nm, 并且该磁性膜以选自Co,Ni和Fe的至少一种元素为主要成分。

在本发明的又一实施例中,多层构造是这样的,其中的硬磁性膜,软磁性膜,非磁性金属膜和插入的磁性膜是多次叠层的。

在本发明的再一实施例中,在硬磁性膜与非磁性金属膜之间和软磁性膜与非磁性金属膜之间的至少一个界面上插入了又一个磁性膜,该磁性膜的厚度范围是0.1至1nm,并且以Co为其主要成分。

在本发明的下一实施例中,多层构造是这样的,其中的硬磁性膜,软磁性膜,非磁性金属膜以及插入的磁性膜是多次叠层的。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜的主要成分是 $\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Fe}_z$,在原子成分比中,x的范围是0.6至0.9,y为0至0.4,而z的范围是0至0.3。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜的主要成分是 $\text{Ni}_{x'}\text{Co}_{y'}\text{Fe}_{z'}$,在原子成分比中, x' 的范围是0至0.4, y' 为0.2至0.95,而 z' 的范围占0至0.5。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜是一种非晶体磁性膜。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag和Au的一种材料制造的。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜由Cu制成。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜的厚度范围是1nm至10nm。

在本发明的下一实施例中,硬磁性膜以Co和M为主要成分,M代表Pt或至少两种从Pt,Cr和Ta构成的组中选出的元素。

在本发明的下一实施例中,硬磁性膜是由CoPt材料制造的。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜以 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x})_{x'}\text{Fe}_{1-x'}$ 为主要成分,硬磁性膜以 $\text{Co}_y\text{Fe}_{1-y}$ 为主要成分,在原子成分比中,x的范围是0.6至1.0, x' 的范围是0.7至1.0,y的范围是0.3至0.7。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag, 和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜的主要成分是 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x})_x\text{Fe}_{1-x'}$,硬磁性膜的主要成分是 $(\text{Co}_z\text{Fe}_{1-z})_z\text{V}_{1-z'}$, 在原子成分比中,x的范围是0.6至1.0,x'的范围是0.7至1.0,z 的范围是0.3至0.7,z'的范围是0.9至0.98。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag 和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,在设在基片上的多层构造中,硬磁性膜主要由Co,CoPt或CoFe制成,软磁性膜主要由NiFe或NiFeCo制成,非磁性金属膜主要由Cu制成,其厚度为2至10nm, 多层构造是在基片上外延形成的,使构成多层构造的每个膜的[100]方向处在垂直于各个膜的膜平面的方向上, 并且被检测的磁场方向基本上是非磁性金属膜的方向。

在本发明的下一实施例中,基片是一种Si(100)单晶体基片, 通过主要由Cu制成的一个下层在基片上形成多层构造。

在本发明的下一实施例中,在形成到基片上的多层构造中,硬磁性膜是主要由Co,CoPt,或CoFe 制成的,软磁性膜主要是由NiFe 或NiFeCo制成的,非磁性金属膜包括主要由Cu 制成的第一非磁性金属膜,其厚度为2至10nm, 以及插入第一非磁性金属膜的第二非磁性金属膜,它主要由Ag或Au制成,并且厚度为0.1至0.4nm。

在本发明的下一实施例中,多层构造外延形成在基片上,使构成多层构造的每个膜的[100] 方向处于垂直于每个膜的膜平面的方向上,并且被检测的磁场方向基本上是非磁性金属膜的[011]方向。

在本发明的下一实施例中,基片是一种Si(100)单晶体基片,多层构造通过主要由Cu制成的一个下层形成在基片上。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜主要由NiFe或NiFeCo制成,至少有两个相邻的软磁性膜,各自的厚度为1至10nm,它们和插在中间的一个非磁性金属膜叠在一起,其中的硬磁性膜主要由Co, CoPt, 或是CoFe制成,硬磁性膜和相邻的软磁性膜与插在中间的非磁性金属膜叠在一起。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜主要是由Cu制成的。

在本发明的下一实施例中,介于相邻软磁性膜之间的非磁性金属膜是由主要由Cu制成的单一膜构成时,介于相邻的软磁性膜与硬磁性膜之间的非磁性金属膜是由主要为Cu的膜构成的,在其中插入了一个Ag或Au膜。

在本发明的下一实施例中,多层构造是外延形成在基片上的,使得构成多层构造的各个膜的[100]方向处在垂直于各膜的平面的方向上,并且被检测的磁场方向基本上是非磁性金属膜的[011]方向。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜主要由NiFe或NiFeCo制成,至少有两个各自厚度为1至10nm的软磁性膜是相邻叠放的,在中间插入一个非磁性金属膜,其中的硬磁性膜主要由Co, CoPt或CoFe制成,至少有两个各自厚度为1至10nm的硬磁性膜相邻叠放,在中间插入一个非磁性金属膜,其中相邻的软磁性膜和相邻的硬磁性膜被交替地叠放,在中间插入非磁性金属膜,并且设在软磁性膜和硬磁性膜之间的非磁性金属膜的厚度大于设在相邻的软磁性膜之间或是相邻的硬磁性膜之间的非磁性金属膜的厚度。

在本发明的下一实施例中,相邻软磁性膜之间的非磁性金属膜

和相邻的硬磁性膜之间的非磁性金属膜是主要由Cu制成的单一膜,相邻软磁性膜与硬磁性膜之间的非磁性金属膜是由主要为Cu制成的膜构成的,在其中插入了一个Ag或Au制的膜。

在本发明的下一实施例中,多层构造是在基片上外延形成的,使得构成多层构造的各膜的[100]方向处于与各膜平面垂直的方向上,并且被检测的磁场方向基本上是非磁性金属膜的[011]方向。

在本发明的下一实施例中,硬磁性膜的矩形比为0.7或更高。

在本发明的下一实施例中,流过多层构造的电流方向基本上垂直于多层构造的膜平面。

按照本发明的另一方面,一个磁阻效应型磁头包括:一个基片;形成在基片上的多层构造,该多层构造包括一个硬磁性膜,一个软磁性膜,以及隔开硬磁性膜和软磁性膜的一个非磁性金属膜;以及一个磁轭,用于从磁性介质向软磁性膜引导信号磁场,其中硬磁性膜的磁化曲线具有良好的矩形特征,并且硬磁性膜的易磁化轴基本上与磁轭引导的信号磁场方向一致。

在本发明的一个实施例中,多层构造是这样的,其中的硬磁性膜,软磁性膜和非磁性金属膜是多次叠放的。

在本发明的另一实施例中,另一个磁性膜被插在硬磁性膜与非磁性金属膜之间或软磁性膜与非磁性金属膜之间的至少一个界面上,该磁性膜的厚度为0.1至1nm,并且该磁性膜以选自Co,Ni和Fe的至少一种元素为主要成分。

在本发明的又一实施例中,多层构造是这样的,其中的硬磁性膜,软磁性膜,非磁性金属膜以及插入的磁性膜是多次叠放的。

在本发明的再一实施例中,进一步的磁性膜被插到硬磁性膜的

两面或一面上,该磁性膜的厚度为0.1至1nm,并且它以Co为主要成分。

在本发明的下一实施例中,多层构造是这样的,其中的硬磁性膜,软磁性膜,非磁性金属膜以及插入的磁性膜是多次叠放的。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜以 $\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Fe}_z$ 为主要成分,在原子成分比上,x的范围是0.6至0.9,y的范围是0至0.4,而z的范围是0至0.3。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜以 $\text{Ni}_{x'}\text{Co}_{y'}\text{Fe}_{z'}$ 为主要成分,在原子成分比上, x' 的范围是0至0.4, y' 的范围是0.2至0.95,而 z' 的范围是0至0.5。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜是一种非晶体磁性膜。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是Cu制的。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜的厚度范围是1至10nm。

在本发明的下一实施例中,硬磁性膜以Co和M为主要成分,其中的M代表Pt或是以Pt,Cr和Ta构成的组中选出的至少两种元素。

在本发明的下一实施例中,硬磁性膜是由一种CoPt的材料制成的。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜以 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x})_x\text{Fe}_{1-x}$ 为主要成分,硬磁性膜以 $\text{Co}_y\text{Fe}_{1-y}$ 为主要成分,在原子成分比方面,x的范围是0.6至1.0, x' 的范围是0.7至1.0,y的范围是0.3至0.7。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,软磁性膜以 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x})_{x'}$ $\text{Fe}_{1-x'}$ 为主要成分,硬磁性膜以 $(\text{Co}_z\text{Fe}_{1-z})_z\text{V}_{1-z'}$ 为主要成分,在原子成分比上,x范围是0.6至1.0,x'的范围是0.7至1.0,z的范围是0.3至0.7,而z'的范围是0.9至0.98。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,硬磁性膜主要是由Co,CoPt或CoFe制成的,软磁性膜主要是由NiFe或NiFeCo制成的,并且厚度为2至10nm的非磁性金属膜主要是由Cu制成的,各个膜外延形成在基片上,使得各膜的[100]方向处在各膜平面的垂直方向上,并且信号磁场的方向基本是非磁性金属膜的[011]方向。

在本发明的另一实施例中,硬磁性膜的矩形比为0.7或更高。

在本发明的下一实施例中,流经多层构造的电流方向基本上垂直于多层构造的膜平面。

按照本发明的再一方面,一种非易失性记忆器件包括:磁阻变化部分,其中包括第一磁性膜,第二磁性膜和用于隔开第一磁性膜和第二磁性膜的非磁性金属膜;以及导线,用于供记录信息的第一电流和读出信息的第二电流从中流过,分别由第一电流和第二电流产生的磁场作用于磁阻变化部分,其中的第一磁性膜的磁化曲线具有良好的矩形特征,该第一磁性膜所具有的矫顽力能通过第一电流所产生的磁场使第一磁性膜的磁化发生反向,但是,第二电流所产生的磁场不能使第一磁性膜的磁化发生反向,第二磁性膜具有的矫顽力能通过第二电流产生的磁场使第二磁性膜的磁化发生反向,从而非破坏性地读出记录在记忆器件上的信息。

在本发明的一个实施例中,磁阻变化部分的构造是,其中的第一磁性膜,第二磁性膜和非磁性金属膜是多次叠放的。

在本发明的另一实施例中,在第一磁性膜的两面或一面上插入了另一个磁性膜,该磁性膜的厚度在0.1至2nm,并且该磁性膜包括选自Co,Ni和Fe的至少一种元素作为其主要成分。

在本发明的再一实施例中,磁阻变化部分的构造是,其中的第一磁性膜,第二磁性膜,非磁性金属膜,以及插入的磁性膜是多次叠放的。

在本发明的又一实施例中,又一个磁性膜被插在第一磁性膜与非磁性金属膜之间和第二磁性膜与非磁性金属膜之间的至少一个界面上,该磁性膜的厚度为0.1至1nm,并且该磁性膜以Co为主要成分。

在本发明的下一实施例中,磁阻变化部分的构造是,其中的第一磁性膜,第二磁性膜,非磁性金属膜,以及插入的磁性膜是多次叠放的。

在本发明的下一实施例中,磁阻变化部分包括多个第一磁性膜,这些多个第一磁性膜分别具有彼此不同的矫顽力。

在本发明的下一实施例中,第一磁性膜的易磁化轴与流经导线的第一电流和第二电流所产生的磁场的方向基本一致。

在本发明的下一实施例中,第二磁性膜的主要成分是 $\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Fe}_z$,在原子成分比上,x的范围是0.6至0.9,y的范围是0至0.4,z的范围是0至0.3。

在本发明的下一实施例中,第二磁性膜的主要成分是 $\text{Ni}_{x'}\text{Co}_{y'}\text{Fe}_{z'}$,在原子成分比上, x' 范围是0至0.4, y' 的范围是0.2至0.95,而 z' 的范围是0至0.5。

在本发明的下一实施例中,第二磁性膜是一种非晶体磁性膜。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是Cu制成的。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜的厚度为1nm至10nm。

在本发明的下一实施例中,第一磁性膜以Co和M为主要成分,M代表Pt或是从Pt,Cr和Ta构成的组中选出的至少两种元素。

在本发明的又一实施例中,第一磁性膜是一种半硬磁性膜。

在本发明的下一实施例中,第二磁性膜以 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x})_{x'}\text{Fe}_{1-x'}$ 为主要成分,第一磁性膜以 $\text{Co}_y\text{Fe}_{1-y}$ 为主要成分,在原子成分比上,x的范围是0.6至1.0,x'的范围是0.7至1.0,y 的范围是0.3至0.7。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,第二磁性膜是以 $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x})_{x'}\text{Fe}_{1-x'}$ 为主要成分,第一磁性膜以 $(\text{Co}_z\text{Fe}_{1-z})_{z'}\text{V}_{1-z'}$ 为主要成分,在原子成分比上,x的范围是0.6至1.0,x'的范围是0.7至1.0,z的范围是0.3至0.7,而z'的范围是0.9至0.98。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,第一磁性膜主要由Co,CoPt或CoFe制成,第二磁性膜主要由NiFe或NiFeCo制成,非磁性金属膜的厚度为2至10nm,并且主要由Cu制成,各个膜外延形成在基片上,使各膜的[100]方向处于与各膜平面垂直的方向上,并且由第一电流产生的磁

场方向基本上就是非磁性金属膜的[011]方向。

在本发明的下一实施例中,第一磁性膜的矩形特征为0.7或更高。

按照本发明的又一方面,一种放大器件包括:磁阻变化部分,它包括第一磁性膜,第二磁性膜,以及用于隔开第一磁性膜和第二磁性膜的非磁性金属膜;以及导线,用于供信号电流从中流过,由信号电流产生的磁场作用于磁阻变化部分,其中第一磁性膜的磁化曲线具有良好的矩形特征,第一磁性膜的矫顽力不能通过信号电流所产生的磁场使第一磁性膜的磁化发生逆变,而第二磁性膜的矫顽力可以通过信号电流产生的磁场使第二磁性膜的磁化发生反向。

在本发明的下一实施例中,磁阻变化部分的构造是,其中的第一磁性膜,第二磁性膜,以及非磁性金属膜是多次叠放的。

在本发明的下一实施例中,另一个磁性膜被插在第一磁性膜的两个或一个面上,该磁性膜的厚度为0.1至2nm,并且该磁性膜以选自Co,Ni和Fe的至少一种元素为主要成分。

在本发明的下一实施例中,磁阻变化部分的构造是,其中的第一磁性膜,第二磁性膜,非磁性金属膜,以及插入的磁性膜是多次叠放的。

在本发明的下一实施例中,又一个磁性膜被插在第一磁性膜与非磁性金属膜之间以及第二磁性膜与非磁性金属膜之间的至少一个界面上,该磁性膜的厚度为0.1至1nm,并且以Co为主要成分。

在本发明的下一实施例中,磁阻变化部分的构造是,其中的第一磁性膜,第二磁性膜,非磁性金属膜,以及插入的磁性膜是多次叠放的。

在本发明的下一实施例中,第二磁性膜以 $\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Fe}_z$ 为主要成分,

在原子成分比上,x的范围是0.6至0.9,y的范围是0至0.4,而z的范围是0至0.3。

在本发明的下一实施例中,第二磁性膜以 $\text{Ni}_x \cdot \text{Co}_y \cdot \text{Fe}_z$ 为主要成分,在原子成分比上,x'的范围是0至0.4,y'的范围是0.2至0.95,而z'的范围是0至0.5。

在本发明的下一实施例中,第二磁性膜是一种非晶体磁性膜。

在本发明的下一实施例中,非磁性膜是由选自Cu,Ag和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是Cu制的。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜的厚度范围是1nm 至10nm。

在本发明的下一实施例中,第一磁性膜是硬磁性膜。

在本发明的下一实施例中,第一磁性膜以Co和M为主要成分,M代表Pt或是从Pt,Cr和Ta构成的组中选出的两种或两种以上元素。

在本发明的下一实施例中,第二磁性膜以 $\text{Ni}_x \text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x \text{Co}_{1-x})_x \cdot \text{Fe}_{1-x}$ 为主要成分,第一磁性膜以 $\text{Co}_y \text{Fe}_{1-y}$ 为主要成分,在原子成分比上,x的范围是0.6至1.0,x'的范围是0.7至1.0,y 的范围是0.3至0.7。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,第二磁性膜以 $\text{Ni}_x \text{Fe}_{1-x}$ 或 $(\text{Ni}_x \text{Co}_{1-x})_x \cdot \text{Fe}_{1-x}$ 为主要成分,第一磁性膜以 $(\text{Co}_z \text{Fe}_{1-z})_z \cdot \text{V}_{1-z}$ 为主要成分,在原子成分比上,x的范围是0.6至1.0,x'的范围是0.7至1.0,z的范围是0.3至0.7,z'的范围是0.9至0.98。

在本发明的下一实施例中,非磁性金属膜是由选自Cu,Ag和Au的一种材料制成的。

在本发明的下一实施例中,第一磁性膜主要由Co,CoPt或CoFe制成,第二磁性膜主要由NiFe或NiFeCo制成,非磁性金属膜主要由Cu制成并且厚度为2至10nm,各个膜外延形成在基片上,使得各膜的[100]方向处于与各膜平面垂直的方向上,并且由信号电流所产生的磁场方向基本上是非磁性金属膜的[011]方向。

在本发明的下一实施例中,第一磁性膜的矩形比为0.7或更高。

这样,本发明就有可能产生以下优点,(1)提供一种高灵敏度的磁阻器件和磁阻效应型磁头,可以在弱磁场中工作,并且呈现出相对较大的MR比,(2)提供一种非易失性记忆器件和放大器件,可以在不采用任何半导体元件的条件下实现非破坏性的读出。

熟悉本技术领域的人员可以根据以下结合附图的详细说明更清楚地看到本发明的上述和其他优点。

图1A和1B是按照本发明的磁阻效应器件的结构图。图1A示出了夹层型磁阻效应器件的结构,图1B示出了叠层型磁阻效应器件的结构。

图2A和2B示出了按照本发明的磁阻效应器件的其他结构图。图2A示出了夹层型磁阻效应器件的结构,图2B示出了叠层型磁阻效应器件的结构。

图3是按照本发明的磁阻效应型磁头的结构图。

图4是按照本发明的记忆器件和放大器件的结构图。

图5是按照本发明的一个记忆器件的结构图,它可以记录多值信息。

图6A至6D是用于说明本发明的记忆器件工作方式的示意图。

图7A至7C是用于说明本发明的能记录多值信息的记忆器件的工作方式的示意图。

图8A至8C是用于说明本发明的放大器件工作方式的示意图。

图9A至9C是用于表示硬磁性膜1(或磁性膜1')的磁化曲线的矩形特征与本发明的磁阻效应器件的MR曲线之间关系的示意图。

图10是按照本发明的具有[NiFeCo/Cu/CoPt/CuPt/Cu]构造的磁阻效应器件的MR曲线图表。

图11是现有技术中采用具有不同矫顽力的磁性膜的一种[NiFe/Cu/Co/Cu]人造多层的MR曲线图。

图12是现有技术中的一种反铁磁耦合型[NiFeCo/Cu/Co/Cu]人造多层的MR曲线图。

图13是现有技术中的一种采用反铁磁膜的[NiFe/Cu/NiFe/FeMn]自旋开关(Spin Valve)膜的MR曲线图。

图14是本发明记忆器件的磁阻效应部分的MR曲线图。

图15A和15B是本发明记忆器件中导线布置方式的示意图。

图16A和16B是局部的截面图,示出了本发明磁阻效应器件的各个磁性膜中自旋排列方向的构形。

图17是本发明的磁阻效应器件的MR曲线图,表示了饱和磁场 H_S 按照附加的 V 的变化。

图18示出了在本发明的磁阻效应器件中MR曲线按照磁性膜21和23的厚度发生的变化。

图19表示在本发明的磁阻效应器件中的磁场 H 与磁阻变化率 $\Delta R/R$ 的关系曲线。

图20A和20B示出了本发明的记忆器件的输入/输出特性。

图21是本发明磁阻效应器件的截面图。

图22是本发明的另一个磁阻效应器件的截面图。

图23是本发明的又一个磁阻效应器件的截面图。

图24是本发明的再一个磁阻效应器件的截面图。

图25是包括一个多层器件部分的记忆器件/放大器的构造图。

图26是本发明的一个Si(100)/Cu(5)/NiFe(10)/Cu(2.4)/Ag(0.2)/Cu(2.4)/Co(10)器件的MR曲线图。

图27A和27B是本发明的器件A9和作为对照例的一个玻璃/Cr(5)/[Co(3)/Cu(6)/NiFe(3)/Cu(6)]¹⁰器件的MR曲线图。

图28A至28D表示本发明的器件B9的MR曲线图,其中的x分别为0,0.1,0.2和0.4。

图29示出了本发明的一个磁头的构造。

本发明涉及一种硬膜自旋开关和使用了多层硬膜自旋开关的磁阻效应器件。与惯用的采用诸如Fe-Mn的惯用材料的反铁磁膜的自旋开关不同,在本发明的硬膜自旋开关中,一个单方向性磁化的硬磁性膜执行与反铁磁膜相似的功能。

图1A示出了本发明的磁阻效应器件的结构。该磁阻效应器件包括一个基片7和形成在基片7上的多层构造。该多层构造包括硬磁性膜1,非磁性金属膜2和软磁性膜3。在本文中,具有这种多层构造的器件部分被称为磁阻效应部分。硬磁性膜1的磁化曲线具有良好的矩形特征,因此,硬磁性膜1的磁化在弱磁场中是不会发生逆变的。硬磁性膜1是这样形成的,使得硬磁性膜1的易磁化轴的方向基本上等于被检测的磁场的方向。"被检测的磁场的方向"通常与加到磁阻

效应器件上的信号磁场的方向相同。然而,在例外的情况下,被检测的磁场方向可以与加到磁阻效应器件上的信号磁场方向不同。例如从外部进入的信号磁场的方向被一个L形轭铁所弯曲的情况下就是一种例外。非磁性金属膜2被设在硬磁性膜1和软磁性膜3之间,以便减少硬磁性膜1和软磁性膜3之间的磁耦合力。软磁性膜3的磁化在弱磁场中易于被反向。通过非磁性金属膜2可以把软磁性膜3与硬磁性膜2的磁耦合隔离。

在本文中,具有20 Oe或更高矫顽力的磁性膜就被称为"硬磁性膜",而具有低于20 Oe的矫顽力的磁性膜被称为"软磁性膜"。另外,矫顽力低于100 Oe的硬磁性膜被称为"半硬磁性膜"。本文中所用的矫顽力数值是在相对低频范围(即60Hz)的AC条件下测得的值。

当硬磁性膜1在铁磁场的作用下被单一方向磁化时,如果在磁阻效应器件上施加一个与硬磁性膜1磁化方向相反的信号磁场,硬磁性膜的磁化不会反向,但是,软磁性膜3的磁化被反向成信号磁场的方向。这样,硬磁性膜1的磁化方向就与软磁性膜3的磁化方向反方向平行。当硬磁性膜1的磁化方向与软磁性膜3的磁化方向形成反方向平行时,在流经磁阻效应器件的电流中的电子在硬磁性膜1与非磁性金属膜2之间的界面上和非磁性金属膜2与软磁性膜的界面上就会受到磁耗散。其结果使磁阻效应元件的电阻值增大。另一方面,如果把一个与硬磁性膜1磁化方向相同的弱信号磁场施加到磁阻效应器件上,硬磁性膜1的磁化方向就平行于软磁性膜3的磁化方向。其结果会使上述的磁耗散现象减少,从而使磁阻效应器件的电阻值被降低。根据上述原理,磁阻效应器件按照信号磁场的变化改变其电阻值。

图1B示出了本发明磁阻效应器件的另一种结构。图1B所示的磁阻效应器件包括这样一种构造,其中如图1A所示的[硬磁性膜1/非磁性金属膜2/软磁性膜3]的构造是通过非磁性金属膜2被多次叠放的。这种叠层构造可以表示为[硬磁性膜1/非磁性金属膜2/软磁性膜3/非磁性金属膜2]^N(N代表重复次数)。采用了这种构造,各膜间界面上的磁耗散被增大了。从而就有可能获得具有较大MR比的磁阻效应器件。不仅如此,若能借助石板印刷等技术使电流在与这种叠层构造的磁阻效应器件的膜面相垂直的方向上流动,发生在各膜界面上的磁耗散就会被进一步增大。从而有可能获得具有更大MR比的磁阻效应器件。

图3示出了本发明的磁阻效应型磁头的结构。基片7包括一个铁氧体7-1,或是一个形成在非磁性基片上的Co-基非晶体膜,例如CoNbZr或类似物,或者是一个形成在基片7上的具有高度永磁性的NiFe膜7-1,以及一个隔离膜7-2。磁阻器件部分10形成在基片7上。磁阻器件部分10与图1A和1B所示的多层磁阻效应器件具有相同的构造。在磁阻器件部分10上设有一个隔离膜6。用于把信号磁通从磁介质引导到软磁性膜3的磁扼4形成在隔离膜6上。如果把磁阻器件部分10设在能够容易地检测到来自磁性器件的信号磁通的部位上,就不必需要磁扼4。为了减少Barkhausen噪声,希望软磁性膜3能以这种方式形成,即使得软磁性膜3的易磁化轴与加到磁阻效应器件上的信号磁场方向形成正交。磁阻器件部分10按照由磁扼4引导的弱信号磁场改变磁阻器件部分10的电阻。

在必要时,可以在磁阻器件部分近旁设置偏置磁场的导线,以便向上述具有多层构造的磁阻器件部分施加偏置。反之,为了使磁阻

器件部分的至少一个软磁性膜3形成单一磁畴,在磁阻器件部分的端部可以连接一个反铁磁膜或硬磁性膜。

图4示出了本发明的一个记忆器件的结构。该记忆器件包括一个磁阻变化部分11和用于使电流流过的导线5。导线5设置在磁阻变化部分11附近,从而使流过导线5的电流产生的磁场作用于磁阻变化部分11。隔离膜6把磁阻变化部分11与导线5隔开。

磁阻变化部分11包括磁性膜1',非磁性金属膜2和软磁性膜3。磁性膜1'的磁化曲线呈现出良好的矩形特征,因此,磁性膜1'的磁化在弱磁场中不发生反向。非磁性膜2设在磁性膜1'和软磁性膜3之间,用于减少磁性膜1'与软磁性膜3之间的磁耦合力。软磁性膜3的磁化即使在弱磁场中也易于被反向。软磁性膜3被一个非磁性金属膜2与磁性膜1'的磁耦合隔开。

磁性膜1'的矫顽力大于软磁性膜3的矫顽力。另外,要求磁性膜1'的矫顽力比流经导线5的电流所产生的最大磁场要小,以便能由导线5所产生的磁场使其磁化状态反向。这种要求的目的是为了按照磁性膜1'的磁化方向来体现被存储在记忆器件中的信息。一旦磁性膜1'被一个大于其矫顽力的磁场所磁化,磁性膜1'的磁化状态就不可能被一个小于其矫顽力的磁场所反向。

以下说明本发明的记忆器件的工作方式。

磁阻变化部分11可以这样构成,即包括图4所示的[磁性膜1'/非磁性金属膜2/软磁性膜3]构造,并且通过非磁性金属膜2被多次叠放。在这种情况下有可能获得具有较大MR比的记忆器件。

如果要把信息存入记忆器件,就使用于存储信息的电流流过导线5。在信息存储电流所产生的磁场的作用下,磁性膜1'的磁化和

磁性膜3的磁化均被逆变。在磁性膜1'中,按照磁性膜1'的磁化方向存储信息。例如,在磁性膜1'的磁化方向由图6A中所示的指向右侧的箭头来表示时,被存储的信息为"1"。当磁性膜1'的磁化方向由图6A中指向左侧的箭头所示时,被存储的信息为"0"。

为了从记忆器件中读出信息,采用一个用于信息读出的弱电流。如果用信息读出弱电流向磁阻变化部分11施加一个与磁性膜1'磁化方向相反的弱磁场,磁性膜1'的磁化不会反向,而软磁性膜3的磁化则被逆变成弱磁场的方向。结果使得磁性膜1'的磁化方向与软磁性膜3的磁化反方向平行,从而使磁阻变化部分11的电阻增大。另一方面,如果用信息读出弱电流向磁阻变化部分11施加一个与磁性膜1'磁化方向相同的弱磁场,磁性膜1'的磁化不会反向,而软磁性膜3的磁化被反向到弱磁场的方向。这样就使磁性膜1'的磁化与软磁性膜3的磁化相互平行,从而使磁阻变化部分11的电阻减小。

如果要把信息从记忆器件中读出,首先要使某一方向的信息读出弱电流流过导线5(弱电流初始化),然后使与上述方向相反的信息读出弱电流流过导线5(反向弱电流)。例如图6B所示,弱电流在垂直于纸面的方向上从背面向正面流过导线5(弱电流初始化),而图6C所示的情况是弱电流在垂直于图面的方向从正面向背面流过导线5(反向弱电流)。

按照磁阻变化部分11的电阻变化可以检测出存储在磁性膜1'中的信息。例如,当存储在磁体1'中的信息为"1"时,磁阻变化部分11的电阻在反向弱电流期间相对于弱电流初始化期间有所增大。当存储在磁体1'中的信息为"0"时,磁阻变化部分11的电阻在反向弱电流期间相对于弱电流初始化期间有所减小(见图6D)。按照这种方式就

可以以非破坏性的方式读出存储在磁性膜1'中的信息。弱电流可以采用脉冲式的弱电流。

图5示出了本发明记忆器件的另一种结构。图5中的记忆器件具有这样的构造,即把图4所示的[磁性膜1'/非磁性金属膜2/软磁性膜3]的构造通过非磁性金属膜2多次叠放。此外,包括在叠层构造中的多个磁性膜1'的矫顽力是彼此不同的,磁性膜1'的磁化不会被预定的信号磁场所反向,如果把这种磁性膜1'的数量与所需的数值相联系,在多个磁性膜1'中就可以存储多值信息。这样就有可能获得能存储多值信息的记忆器件。这种记忆器件的工作方式如图7A至7C所示。

本发明的放大器件的结构与上述的本发明记忆器件的结构相同,仅是磁性膜1'的矫顽力有所不同。由此省略了这方面的详细说明。

以下说明本发明的放大器件的工作方式。

首先要对放大器件进行初始化(见图8A)。也就是说,使强电流脉冲流过导线5,把磁性膜1'的磁化固定在一个方向上。由此构成的放大器件使磁性膜1'的易磁化轴与强电流脉冲所产生的磁场方向基本一致。

然后,为了执行放大工作,令一个正比于输入电压的弱电流流过导线5(见图8B)。在交流弱电流产生的弱磁场的作用下,磁性膜1'的磁化不会发生转动(或是磁畴壁的移动),但是软磁性膜3发生磁化转动(或是磁畴壁的移动)。相应地,包括[磁性膜1'/非磁性金属膜2/软磁性膜3]的构造的磁阻变化部分的电阻按照磁性膜1'的磁化方向和磁性膜3的磁化方向形成的角度而变化。结果得到被放大的输出(见图8C)。

本发明的记忆器件与本发明的磁阻效应型磁头的区别在于, 在本发明的记忆器件中不一定需要用具有较大矫顽力的硬磁性膜构成磁性膜1'。在本发明的记忆器件中, 磁性膜1' 采用半硬磁性膜就足够了, 只需使其矫顽力大于软磁性膜3的矫顽力。其理由是, 当信息被写入记忆器件时, 需要使磁性膜1' 的磁化反向。从可靠性的观点来看, 希望磁性膜1' 是硬磁性膜。然而, 从降低信息存储电流的角度来看, 又希望磁性膜1' 是半硬磁性膜。

在本发明的放大器件中, 希望磁性膜1' 是硬磁性膜, 因为此时要求磁性膜1' 的磁化不被信号磁场反向。然而, 在实践中, 只要磁性膜1' 的磁化曲线具有良好的矩形特征, 磁性膜1' 就不一定需要是硬磁性膜。其原因是, 在放大工作期间流过导线5的信号电流很小, 因此, 信号电流所产生的磁场很小。

另外, 在上述的磁阻效应器件, 磁阻效应型磁头, 记忆器件及放大器件中, 在磁性膜1(或磁性膜1') 与非磁性金属膜2之间的界面上; 以及磁性膜3与非磁性金属膜2之间的界面上, 可以在至少一个界面上插入一个磁性膜3'。在这种情况下, 磁性膜3' 最好是以Co 作为主要成分的磁性膜。磁性膜3' 的厚度最好为0.1至1nm。如果磁性膜3' 的厚度等于或小于0.1nm, 对MR比的改善作用很小。另一方面, 也不希望在软磁性膜3的界面上连接的磁性膜3' 的厚度达到或超过1nm, 这样会使磁性膜3的软磁特性变坏。如果按上述方式插入一个磁性膜3', 在膜的各个界面上的磁耗散就会增大。结果就有可能获得具有大MR比的器件。

另一种方式是在硬磁性膜1(或磁性膜1') 与非磁性金属膜2之间插入一个磁性膜3'。磁性膜3' 被设在硬磁性膜1(或磁性膜1') 的两

面或一面上。在这种情况下,把磁性膜3'的厚度设定在0.1至2nm 的范围就足够了。并且磁性膜3'的成分仅需以选自Co,Ni,Fe的至少一种元素为主要成分。如果磁性膜3'的厚度小于0.1nm,对MR比的改善作用很小。另一方面,如果磁性膜3'的厚度达到或超过2nm,硬磁性膜1(或磁性膜1')的矩形特征的磁化曲线和矫顽力就容易退化。在把这种磁阻效应器件用做磁头等等场合时,特别需要使磁性膜3'的厚度等于或小于1nm。这是因为磁性膜1的磁化曲线在此时具有良好的矩形特征,并且磁性膜1应该是具有相对较大矫顽力的硬磁性膜。

图2A示出了一个实例,其中在图1A 所示的夹层式磁阻效应器件中把磁性膜3'插在了硬磁性膜1(或磁性膜1')与非磁性金属膜2之间的界面上。

图2B示出了一个实例,其中在图1B 所示的叠层式磁阻效应器件中把磁性膜3'插在了硬磁性膜1(或磁性膜1')与非磁性金属膜2之间的界面上。在图2B中,硬磁性膜1(或磁性膜1')的两面上均设有磁性膜3'。可以想象,仅在硬磁性膜1(或磁性膜1')的一面上设置磁性膜3'也是可以的。图2B所示的磁阻效应器件具有比图2A所示的磁阻效应器件更大的MR比。

在图1B和2B所示的叠层式磁阻效应器件的应用中,最好使硬磁性膜1(或磁性膜1'),非磁性金属膜2,软磁性膜3以及磁性膜3'各自的厚度不要太大,这是从电子的平均自由通路的角度来考虑的。MR比随着元件叠层数量的增多而增大。当元件叠层达到或超过三次时,效果就会变得很明显。当元件叠层达到十次或更多时,效果就基本上饱和了。从层电阻的角度来看,膜的叠层数应该不大于五次,而电流工作期间的流动方向垂直于膜面的情况除外。

硬磁性膜1(或磁性膜1')的磁化曲线应该具有良好的矩形特征。在本文中,"良好的矩形特征"被定义为矩形比 S (=剩余磁化/饱和磁化)等于或大于0.7。

图9A至9C示出了本发明的磁阻效应器件中硬磁性膜1(或磁性膜1')的矩形比 S 与MR曲线之间的关系。从图9A至9C中可见,当矩形比 S 小于0.7时,零磁场附近的MR曲线出现劣化。MR曲线在零磁场附近的劣化可能会导致磁阻效应型磁头和放大器件的复制灵敏度和线性发生劣化。并且使记忆器件在记录和复制期间由于磁性膜1'的磁化逆变发生误动作而造成错误操作。如上所述,硬磁性膜1(或磁性膜1')的单一方向磁化是一个重要条件,并且该磁性膜具有这样的特点,即磁化状态可以保持,并且在弱磁场中不发生磁化的反向现象。

在本发明的磁阻效应型磁头中,磁性膜1的磁化被固定在一个方向上。相应地,要求磁性膜1是一种具有大矫顽力的硬磁性膜;并且希望同样成分的膜在块状或厚膜状下的矫顽力为500 Oe或更高。此外还希望磁性膜1具有良好的耐蚀性。用于磁性膜1的材料例包括 $\text{Co}_{0.75}\text{Pt}_{0.25}$, $\text{Co}_{0.84}\text{Ta}_{0.02}\text{Cr}_{0.14}$, $\text{Co}_{0.78}\text{Pt}_{0.10}\text{Cr}_{0.12}$, $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ 等等。目前看来,从矫顽力的耐蚀性方面来看,CoPt是最适用的材料。从MR比的角度来看,CoFe是最适用的材料。这些膜的Curie温度比惯用的自旋开关中所用的Fe-Mn膜的Néel温度足够高。因此,可以有益地减少温度对这些膜的特性造成的影响。

在本发明的记忆器件中,磁性膜1'的磁化曲线的良好矩形特征仍是重要的,但是,磁性膜1'的矫顽力并不那么重要。在信息记录期间,需要通过流过导线的电流使磁性膜1'的磁化反向。相应地,可以把磁性膜1'改成 $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$, Co或类似的半硬磁性膜。通过改变磁

性膜1'的厚度可以调整其矫顽力。在这种应用场合,磁性膜1'可以是 $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ 或类似的半硬磁性膜,厚度为3nm或较薄。

在本发明的放大器件中,磁性膜1'的磁化被固定在一个方向。相应地,希望磁性膜1'是由具有大矫顽力的硬磁性材料制成。然而,在实践应用中,磁性膜1'可以由半硬磁性材料制成。这是因为流过导线5的信号电流很小,因此,由信号电流产生的磁场也很小。

磁性膜3需要具备软磁性质,其磁化应易于被小磁场所反向,从而使其磁阻易于被改变。另外,软磁性膜3最好是具有低磁滞伸缩的膜。这是因为,如果该膜在实际使用中具有高的磁致伸缩,通常会形成噪声,并且在成品器件中会出现特性的变化。为了满足上述条件,希望富含Ni的软磁性膜把下述材料作为主要成分:



并且材料的原子成分比是:

$$x=0.6\text{至}0.9, y=0\text{至}0.4, z=0\text{至}0.3$$

$$\dots (1')$$

这种材料的有代表性的实例包括 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.15}\text{Co}_{0.05}$, $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.1}\text{Co}_{0.1}$, $\text{Ni}_{0.68}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.12}$, 以及类似物。反之,如果使用富含Co的软磁性膜,可以获得大变化量的磁阻,尽管这种膜的软磁性质次于上述富含Ni的磁性膜。富含Co的软磁性膜以下述材料为主要成分:



并且材料的原子成分比为:

$$x'=0\text{至}0.4, y'=0.2\text{至}0.95,$$

$$\text{而 } z'=0\text{至}0.5$$

$$\dots (2')$$

这种膜的有代表性的实例包括 $\text{Co}_{0.44}\text{Fe}_{0.3}\text{Ni}_{0.26}$, $\text{Co}_{0.6}\text{Fe}_{0.2}$

$\text{Ni}_{0.2}, \text{Co}_{0.7}\text{Fe}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}$ 以及类似物。当这些膜的成分比满足(1')和(2')的条件时,可以实现诸如传感器或MR头等磁阻效应器件所需的低磁致伸缩性(即磁致伸缩约为 1×10^{-5} 以下)。

作为替代,软磁性膜3可以是Co基非晶体合金膜。Co基非晶体合金膜的缺点是其电阻率比用于软磁性膜的上述材料要高,但优点是其磁化可以在很弱的磁场中反向,并且这种膜具备高磁导率和基本为零的磁致伸缩。Co基非晶体合金的一个实例是 $\text{Co}_{0.75}\text{Fe}_{0.05}\text{B}_{0.20}$ 。

非磁性金属膜2在其与硬磁性膜1(或磁性膜1')的界面上和其与软磁性膜3的界面上需要具备较小的电抗,并且应难于形成固溶体。另外要求非磁性金属膜2与磁性膜形成平直和清晰的界面。还要求非磁性金属膜2是非磁性的,以便切断硬磁性膜1(或磁性膜1')与软磁性膜3之间的磁耦合。Cu, Ag, Au或类似物适用于非磁性金属膜2。从MR特性的角度来看,Cu是最佳的材料。如果非磁性金属膜2的厚度达到10nm或更多,整个器件的MR比就减小。相应地,需要把非磁性金属膜2的厚度设定在10nm或其以下。最好将其厚度定在5nm或其以下。另一方面,如果非磁性金属膜2的厚度降到1nm以下,硬磁性膜1(或磁性膜1')与软磁性膜3就会形成磁耦合,并导致无法形成大的磁阻效应。

插在硬磁性膜1(或磁性膜1')与非磁性金属膜2之间或是软磁性膜3与非磁性金属膜2之间的磁性膜3'可以增加磁阻效应。为了获得这种效果,磁性膜3'以Co或选自Ni, Co和Fe的至少一种元素为其主要成分。作为替代,也可以用制做上述软磁性膜3的 $\text{Co}, \text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$,或是 $\text{Co}_{0.44}\text{Fe}_{0.3}\text{Ni}_{0.26}, \text{Co}_{0.6}\text{Ni}_{0.2}\text{Fe}_{0.2}, \text{Co}_{0.7}\text{Fe}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}$ 或类似

物来制做磁性膜3'。

图3中所示磁头的磁轭4需要是具有高磁透射性的软磁体。Co基非晶体磁性合金膜适合制做磁轭4。其一个实例是 $\text{Co}_{0.8}\text{Nb}_{0.12}\text{Zr}_{0.06}$ 。

图4所示记忆器件(或放大器件)的导线5是一种用于产生磁场的低电阻金属膜导线。如果记忆器件是被布置在一个阵列中的,导线5不能如图15A所示相互交叉,或是如图15B所示,导线可以各个器件上相互交叉。

在图15A中, M_{ij} ($i=1$ 至 3 , $j=1$ 至 3)表示磁阻变化部分, W_1 至 W_3 表示导线(字线), S_1 至 S_3 表示读出线。读出线 S_1 至 S_3 是由磁阻变化部分 M_{ij} (图中阴影部分)和短路导体部分(图中空白部分)构成的。例如,若要在磁阻变化部分 M_{11} 中存储一个信息,就要使电流流过字线 W_1 和读出线 S_1 。结果,通过流经字线 W_1 和读出线 S_1 的电流产生的合成磁场把信息存入磁阻变化部分 M_{11} 。如果要复制存储在磁阻变化部分 M_{11} 中的信息,就使一个脉冲电流通过字线 W_1 。通过对读出线 S_1 的电阻变化进行检测,就可以读出存储在磁阻变化部分 M_{11} 中的信息,电阻的变化是由流经字线 W_1 的电流造成的。

在图15B中, M_{ij} ($i=1$ 至 2 , $j=1$ 至 3)表示磁阻变化部分, W_1 至 W_3 和 $W_{1'}$ 和 $W_{2'}$ 代表导线(字线), S_1 至 S_2 代表读出线。读出线 S_1 和 S_2 是由磁阻变化部分 M_{ij} (图中阴影部分)和短路导体部分(图中空白部分)构成的。例如,若要把信息存入磁阻变化部分 M_{11} ,就需使电流流过字线 W_1 和字线 $W_{1'}$ 。结果,利用流经字线 W_1 和字线 $W_{1'}$ 的电流产生的合成磁场把信息存入磁阻变化部分 M_{11} 。若要复制存在磁阻变化部分 M_{11} 中的信息,就使一个脉冲电流通过字线 W_1 。通过检测读出线

S_1 上由流经字线 W_1 的电流所致的电阻变化,就可以读出存储在磁阻变化部分 M_{11} 中的信息。

以下用特殊实施例的方式来描述本发明。

(例1)

以 $Ni_{0.68}Co_{0.2}Fe_{0.12}$ (软磁性膜3),Cu(非磁性金属膜2),以及 $Co_{0.75}Pt_{0.25}$ (硬磁性膜1)为靶(成分比一概由原子量%来表示),用一个多靶溅射装置在基片上制成图1A所示的夹层型磁阻效应器件和图1B所示的叠层型磁阻器件。夹层型磁阻器件的构造如下:

A:基片/CoNiFe(15)/Cu(2.2)/CoPt(10)

(括号内的值代表厚度(nm)),以及

叠层型磁阻器件的构造如下:

A':基片/[CoNiFe(3)/Cu(2.2)/CoPt(5)/Cu(2.2)]⁵。

各个膜的厚度是由闸门控制的,并且使CoPt的硬磁性膜1被磁化。然后在室温中施加100 Oe 的磁场,对所得器件的MR特性进行测量。

具有构造A和A'的器件的MR比分别为4%和6%。MR被改变的磁场宽度分别为3 Oe和5 Oe。在这种情况下可以发现以下事实。与图11中所示的使用具有不同矫顽力的磁性膜的情况相比,本发明的器件可以在很弱的磁场中工作,并能改善线性性质。与图12中所示的反铁磁耦合型器件相比,本发明的器件的工作磁场很小。与图13中所示的使用反铁磁膜的自旋开关相比,本发明的器件使MR比得到了改善。

(例2)

与例1中的方式相同,使用 $\text{Co}_{0.75}\text{Pt}_{0.25}$ (硬磁性膜1), $\text{Co}_{0.7}\text{Ni}_{0.1}\text{Fe}_{0.2}$ (软磁性膜3),及Cu(非磁性金属膜2)作为靶子,把硬磁性膜1,非磁性金属膜2,软磁性膜3以及非磁性金属膜2按顺序淀积。就形成了具有以下构造的多层膜:B:基片/[NiCoFe(6)/Cu(2.2)/CoPt(5)/Cu(2.2)]²⁰

对硬磁性膜1的材料CoPt进行磁化,然后用平板印刷术制成具有 $25\ \mu\text{m} \times 25\ \mu\text{m}$ 柱状的硬磁性膜1。此后,采用平板印刷术的四端方法测量器件的MR特性。在施加100 Oe磁场时,MR比为18%,MR被改变的磁场宽度为20 Oe。

(例3)

在包括铁氧体(7-1)和隔离膜(7-2)的基片上用多靶溅射装置使硬磁性膜1,非磁性金属膜2及软磁性膜3依次淀积,用 $\text{Co}_{0.75}\text{Pt}_{0.25}$ (硬磁性膜1),Cu(非磁性金属膜2)和 $\text{Ni}_{0.68}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.12}$ (软磁性膜3)作靶子。硬磁性膜1的CoPt材料是经过磁化的。使用 SiO_2 (隔离膜6)和 $\text{Co}_{0.82}\text{Nb}_{0.12}\text{Zr}_{0.06}$ (磁轭4)作靶子,在其上淀积隔离膜6和CoNbZr。用平板印刷术对定位的膜构形,制成磁轭部分4。结果就制成了如图3所示具有下列构造的磁阻效应型磁头(MR头):

C:基片/CoPt(15)/Cu(2.2)/NiCoFe(15)/ SiO_2 (100)/CoNbZr(1000)
以及

C':基片/[CoPt(5)/Cu(2.2)/NiCoFe(4)/Cu(2.2)]³/
 SiO_2 (100)/CoNbZr(1000)

作为对照例,有一种惯用的构造MR头,在其中制做磁阻效应膜和磁轭的材料分别是惯用的 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 和 $\text{Co}_{0.82}\text{Nb}_{0.12}\text{Zr}_{0.06}$ 。把100

Oe的交流电流磁场分别加到惯用MR头和本发明的MR头上,来比较各个头的复制输出。从中发现,具有构造C和C'的本发明的MR头与作为对照例的惯用MR头相比,所得的输出分别达到对照例的1.5倍和3倍。

(例4)

用 $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ (磁性膜1'), $\text{Co}_{0.7}\text{Ni}_{0.1}\text{Fe}_{0.2}$ (软磁性膜3)和Cu(非磁性金属膜2)作靶子,将硬磁性膜1',非磁性金属膜2和软磁性膜3依次淀积。就制成了如图1A所示具有下述构造的夹层磁阻变化部分:

D: $[\text{CoNiFe}(10)/\text{Cu}(2.2)/\text{CoPt}(2)]$ 。

图14示出了该磁阻变化部分的MR曲线。在磁阻变化部分上淀积一个 SiO_2 隔离膜。然后在其上设置用作导线的AuCr。结果就制成了如图4所示的记忆器件。

为了检查记忆器件的操作,要使电流如图6A所示流过导线5,使磁性膜1'单方向磁化。然后如图6B所示,使弱电流流过导线5,把软磁性膜3的磁化调整到一个方向上。此后,如图6C所示,把流过导线5的弱电流反向,在此时测量磁阻变化部分的电阻变化。如图6D所示,可以确定,电阻的变化是按照磁性膜1'中记录的磁化方向明确地发生正(增大)或负(减小)变化的。

(例5)

用 $\text{Co}_{0.78}\text{Pt}_{0.10}\text{Cr}_{0.12}$ (硬磁性膜1), $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.15}\text{Co}_{0.05}$ (软磁性膜3)和Cu(非磁性金属膜2)作为靶子,把硬磁性膜1,非磁性金属膜2,以及软磁性膜3依次淀积。这样就制成具有下述构造的磁阻变化部

分:

E: [CoPtCr(5)/Cu(2.3)/NiFeCo(10)]。

然后在制成的部件上淀积一个SiO₂隔离膜。接着设置用作导线的AuCr就得到了一个放大器件。

为了对放大器件进行检查,如图8A所示使一个大电流流过导线5,使硬磁性膜1被磁化到一个方向上。然后如图8B所示在导线5上施加输入交流电压,流过一个弱电流,从而使软磁性膜3发生磁化转动。在对磁阻变化部分施加电压的同时测量由磁阻变化部分的电阻变化而导致的输出电压变化。如图8C所示可以看出,输入电压被放大了。

(例6)

用Ni_{0.68}Co_{0.2}Fe_{0.12}(软磁性膜3),Co(磁性膜3'),Cu(非磁性金属膜2)以及Co_{0.75}Pt_{0.25}(硬磁性膜1)作为靶子(所有成分比均用原子量%表示),在基片上用多靶溅射装置制成夹层型磁组器件。夹层型磁组器件的构造如下:

F:基片/NiCoFe(10)/Co(0.2)/Cu(2)/Co(0.2)/CoPt(3)(括号内的值表示厚度(nm),并且叠层型磁阻器件的构造为:

F':基片/[NiCoFe(3)/Co(0.2)/Cu(2)/Co(0.2)/CoPt(3)/Co(0.2)/Cu(2)]^NNiCoFe(3),

其中的N表示膜的叠放次数,在本例中N等于5。各个膜的厚度由闸门控制,并且CoPt的硬磁性膜1是经过磁化的。然后在室温下施加100 Oe磁场的条件下测量所得器件的MR特性。具有F和F'构造的器件的MR比分别为6%和8%。MR发生变化的磁场宽度分别为3 Oe和5 Oe。图10示出了叠层型器件的典型MR曲线。

(例7)

用 $\text{Ni}_{0.68}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.12}$ (软磁性膜3), $\text{Co}_{0.7}\text{Fe}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}$ (磁性膜3'), Cu (非磁性金属膜2)以及 $\text{Co}_{0.75}\text{Pt}_{0.25}$ (硬磁性膜1)作为靶子(所有成分比均用原子量%表示),在基片上用多靶溅射装置制成图2A所示的夹层型磁阻器件和图2B所示的叠层型磁阻器件。夹层型磁阻器件的构造如下:

G: 基片/ $\text{NiCoFe}(15)/\text{Cu}(2.3)/\text{CoNiFe}(0.5)/\text{CoPt}(10)$ (括号内的值表示厚度(nm),以及叠层型磁阻器件的构造如下:

G': 基片/ $[\text{NiCoFe}(7)/\text{Cu}(2.2)/\text{CoNiFe}(0.5)/\text{CoPt}(4)/\text{CoNiFe}(0.5)/\text{Cu}(2.2)]^N$,

其中N表示膜的叠放次数,在本例中N等于5。各个膜的厚度由闸门控制,并且CoPt的硬磁性膜1是经过磁化的。然后在室温下施加100 Oe磁场的条件下测量所得器件的MR特性。具备构造G和G'的器件的MR比分别为6%和9%。MR发生变化的磁场宽度分别为3 Oe和5 Oe。作为一个比较例,制做一个在界面上没有插入 $\text{Co}_{0.7}\text{Fe}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}$ (磁性膜3')的器件。对照例的MR比为4%和6%,低于本发明器件的MR比。

(例8)

在包括铁氧体(7-1)和隔离膜(7-2)的基片上采用多靶溅射装置制成具有下述构造的磁阻器件部分,使用 $\text{Co}_{0.75}\text{Pt}_{0.25}$ (硬磁性膜1), Cu (非磁性金属膜2), $\text{Ni}_{0.68}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.12}$ (软磁性膜3)和Co(磁性膜3')作为靶子:

H: $[\text{NiCoFe}(7)/\text{Cu}(2.1)/\text{Co}(0.4)/\text{CoPt}(4)/\text{Co}(0.4)/\text{Cu}(2.1)]^3$

硬磁性膜1的CoPt材料是经过磁化的。用SiO₂(隔离膜6)和Co_{0.82}Nb_{0.12}Zr_{0.06}作为靶子在其上淀积隔离膜6和CoNbZr。用平板印刷术对淀积的膜构图,从而制成磁轭部分4。结果就制成了如图3所示具有下述构造的磁阻效应型磁头(MR头):

I: 基片/[NiCoFe(7)/Cu(2.1)/Co(0.4)/CoPt(4)/Co(0.4)/
Cu(2.1)]³/SiO₂(100)/CoNbZr(1000)。

作为对照例,制做一个惯用构造的MR头,其中的磁阻效应膜和磁轭分别采用惯用的材料Ni_{0.8}Fe_{0.2}和Co_{0.82}Nb_{0.12}Zr_{0.06}。对惯用的MR头和本发明的MR头均施加100 Oe的交流电流信号磁场,从而比较各个头的复制输出。从中发现,具有本发明构造I的MR头的输出可以达到对照例的惯用MR头的4倍之多。

(例9)

用Co_{0.8}Pt_{0.2}(磁性膜1'),Co_{0.6}Ni_{0.2}Fe_{0.2}(软磁性膜3,磁性膜3')和Cu(非磁性金属膜2)作为靶子,依次淀积磁性膜1',非磁性金属膜2和软磁性膜3。这样就制成了如图2A所示具有下述构造的夹层型磁阻变化部分:

J: [CoNiFe(10)/Cu(2)/CoNiFe(0.7)/CoPt(2)]。

在磁阻变化部分上面淀积一个SiO₂隔离膜。然后在其上淀积用做导线的AuCr。结果就制成了一个记忆器件。

为了对记忆器件的操作进行检查,如图6A所示使一个大电流流过导线5,使磁性膜1'被单方向磁化。然后如图6B所示使一个弱电流流过导线5,从而把软磁性膜3的磁化调整到一个方向上。此后如图6C所示使流过导线5的弱电流反向,并在此时测量磁阻变化部分的电

阻变化。可以确认,电阻的变化是按照记录在磁性膜1'中的磁化方向明确地发生正(增大)或负(减小)变化的,参见图6D。此外还发现,其输出可达到采用NiFe的惯用记忆器件的1.5倍以上。在本例中,图6A至6C中的标号1'表示包括磁性膜1'和磁性膜3'的一个膜。

接下来,制成的磁阻变化部分具有下述叠层构造:

$J': [\text{CoNiFe}(6)/\text{Cu}(2)/\text{CoNiFe}(0.6)/\text{CoPt}(2)/\text{CoNiFe}(0.6)/\text{Cu}(2)]^5$ 。

使用具有这种叠层构造的磁阻变化部分制成一个记忆器件。与上述的方式相同,对记忆器件的操作进行检查。从中确认,在信息读出期间,具有构造J'的记忆器件的输出电压可以达到具有构造J的记忆器件的输出电压的大约二倍。

(例10)

使用 $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$, $\text{Co}_{0.86}\text{Cr}_{0.12}\text{Ta}_{0.02}$, $\text{Fe}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}$ (磁性膜1, 1'和1''), Cu (非磁性金属膜2) 和 $\text{Ni}_{0.68}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.12}$ (软磁性膜3) 作为靶子,制成具有下述叠层构造的磁阻变化部分:

$K: [\text{CoPt}(3)/\text{Cu}(2.2)/\text{NiCoFe}(4)/\text{Cu}(2.2)/\text{CoCrTa}(3)/\text{Cu}(2.2)/\text{NiCoFe}(4)/\text{Cu}(2.2)/\text{NiFe}(3)/\text{Cu}(2.2)/\text{NiFeCo}(4)]$ 。

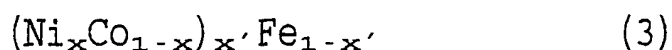
在其上淀积一个 SiO_2 隔离膜。然后淀积用做导线的 AuCr , 就制成了图5所示的记忆器件。

为了检查记忆器件的操作,提供了以下两种类型的记忆器件。一种记忆器件是这样形成的,即如图7A所示使电流流过导线5,使三种类型的磁性膜1, 1'和1'' (NiFe) 磁化,并使软磁性膜3的磁化逆变,从而记录信息。另一种记忆器件是用以下方式形成的,产生一个小

于磁性膜1和1' (CoPt, CoCrTa) 的矫顽力, 但却大于磁性膜1" 的矫顽力的磁场, 因而会使磁性膜1" 和软磁性膜3 (NiCoFe) 的磁化发生逆变, 从而记录信息。接下来如图7B所示, 使一个弱电流脉冲流过导线 5, 从而仅造成软磁性膜3的磁化发生反向, 并在此时测量磁阻变化部分的电阻变化。如图7C所示, 可以确定, 电阻的变化量值按照磁性膜(1, 1', 1") 数量的不同而不同, 磁性膜(1, 1', 1") 的磁化在信息记录期间已经被反向了。这就意味着在这种记忆器件中可以存储多值信息。

在以下的实例11至17中要说明本发明其他实施例的磁阻效应器件, 磁阻效应型磁头, 以及记忆器件。尽管不再列举放大器件的实例, 如上述实施例中所述, 可以按照记忆器件的相同结构制成本发明的放大器件。

如图16A和16B所示, 在这种磁阻效应器件中, 各自具有不同矫顽力的1至20nm厚的软磁性膜21和1至20nm厚的硬磁性膜23是交替叠放的, 并且在交替叠放的软磁性膜21和硬磁性膜23之间插入厚度为1至10nm的非磁性金属膜22。在这种情况下, 软磁性膜的主要成分可用下式表示:



在上式中, x 和 x' 代表下列原子成分比:

$$0.6 \leq x \leq 1.0, 0.7 \leq x' \leq 1.0 \quad (4)$$

硬磁性膜23由具有相对较大电阻变化率 $\Delta R/R$ 的CoFe 基材料构成, 其主要成分可用下式表示:



其中的 y 表示原子成分比:

$$0.3 \leq y \leq 0.7 \quad (6)$$

另外,添加了V的CoFe基材料具有高达0.9 或更高的很好的矩形比,并且其成分可由下式表示:

$$(\text{Co}_z\text{Fe}_{1-z})_{z'}\text{V}_{1-z'} \quad (7)$$

其中的z和z'分别用原子成分比表示如下:

$$0.3 \leq z \leq 0.7, \quad 0.9 \leq z' \leq 0.98 \quad (8)$$

特别是,如果在 $0.9 \leq z' \leq 0.98$ 时添加V,如图17所示,若是添加量很小,即在0.02至0.04%的范围内时,MR曲线的饱和磁场强度 H_s 被减小,从而可以获得作为记忆器件的最佳特性。另一方面,如果添加量大到0.05至0.1%的范围,MR曲线的饱和磁场强度就会增大,从而呈现出用于磁阻效应器件和磁阻效应型磁头的最佳特性。

非磁性金属膜22最好采用在其与NiCoFe基的磁性材料间的界面上具有较小电抗的材料来构成,因此,Cu,Ag和Au都是适用的。

在用这种材料作磁阻效应器件和磁阻效应型磁头的情况下,软磁膜21由呈现小的磁致伸缩、 小的矫顽力和满意的矩形特性的硬磁材料组成, 而硬磁膜由呈现相当大的矫顽力和满意的矩形特性的半硬或硬磁材料组成。

此外,软磁膜21不一定是例如上述的三元膜, 而可以是具有软磁性或相当大的磁阻变化率 $\Delta R/R$ 的二元磁性膜,例如Ni-Fe 基或Ni-Co基双元磁性膜。

例如,软磁膜21的主要成分由下式表示

$$\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x} \quad (9)$$

其中X用原子成分比表示如下:

$$0.7 \leq X \leq 0.9 \quad (10)$$

另外，软磁膜21的主要成分用下式表示：

$$\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x} \quad (11)$$

其中X用原子成分比表示如下：

$$0.6 \leq X \leq 0.9 \quad (12)$$

在软磁膜21和硬磁膜23 交替地迭放而中间插有非磁性金属膜22的情况下，如果软磁膜21的厚度大于硬磁膜23的厚度，则在小的磁场下可以获得大的磁阻变化率，如图18所示。

因为软磁膜21和硬磁膜23具有不同的矫顽力，并且两种膜21和23用插在其间的非磁性金属膜22分开，加上弱磁场H便可使具有软磁性的软磁膜21中的自旋按如图16A、16B 所示的箭头A₁所指的方向转动。在另一方面，具有硬磁或半硬磁的硬磁膜23中的自旋(spins)还是不改变方向，仍旧如箭头B1所示。因此，在这种情况下，在软磁膜21中的自旋排列方向就和硬磁膜23中的自旋排列方向相反，在两种膜中的导电电子的自旋耗散就大，从而使电阻值变大。

如果再施加较强的磁场，如图16B所示，硬磁膜23中的自旋也反向，如箭头B₂所示。结果，在软磁膜21 中的自旋排列方向和硬磁膜23中的自旋排列方向平行；导电电子的自旋耗散变小，因而

电阻值减小。

图19表示在上述磁阻效应器件中电阻改变率 $\Delta R/R$ 的值和所加磁场H的关系。在图19中, 19a的部分相应于图16A所示的状态; 而19B的部分相应于图16B所示的状态。图19所示的电阻改变率按下式计算:

$$\Delta R/R = \{ (R_p - R_{\min}) / R_{\min} \} \times 100 [\%] \quad (13)$$

其中 R_p 是相应于每个磁场H的电阻; $R_{\min}$ 是电阻的最小值。图19是表示磁场强度H和这样获得的电阻改变率 $\Delta R/R$ 之间的关系曲线。

按这种方式, 在相对小的磁场强度H范围内便可获得大的电阻改变率 $\Delta R/R$ 。然而, 如果不提供非磁性金属膜22, 软磁膜21就不能故意地和硬磁膜23进行磁耦合, 因此就不能实现图16A所示的状态。因此, 在这种情况下, 就不能获得大的磁阻效应。

最好软磁膜21具有小的磁致伸缩。这是因为如果用大磁致伸缩后的磁性膜作MR头, 则容易产生噪声。

如果由上述式(3)所示的富Ni的Ni-Co-Fe基合金的成分比率满足式(4), 则这种合金的磁致伸缩就小, 因而呈现软磁性。这种合金的一种典型的成分比是 $\text{Ni}_{0.8} \text{Co}_{0.1} \text{Fe}_{0.1}$, $\text{Ni}_{0.8} \text{Fe}_{0.2}$ 或其类似物。此外, 为了改善软磁性、抗磨损性和抗腐蚀性, 可在式(4)表示的成分中加入Nb、Mo、Cr、W、Ru等。

由式(5)表示的CoFe基合金当其满足式(6) 时呈现满意的矩形特性。

加有V使之满足式(8)的如式(7)所示的CoFe基合金, 根据所加的V的量可任意地改变其矫顽力, 并且可以改善矩形特性。

借助于按上述方式选择成分比, 可以获得具有各自不同矫顽力的软磁膜21和硬磁膜23。当软磁膜21的厚度和硬磁膜23的厚度小于1nm时, 在室温下由于居里温度的减小而不利地引起磁场强度的减小。

因为在实际上磁阻效应器件使用的整个膜的厚度为几十nm, 各个磁膜21和23的厚度就要求被设定为小于20nm, 以便利用按照本发明所获得的迭放结构的效果。而且, 在呈现软磁特性的软磁膜21的膜厚设定为大于呈现半硬磁特性或硬磁特性的硬磁膜的厚度的情况下, 则软磁特性被改进, 并且在非常弱的磁场中特性陡然上升。然而, 当膜厚大于20nm时, 这种效果是不能改变的。因而, 这些磁膜21和23的厚度最好设定为1至20nm的范围内。

插在磁膜21和23之间的非磁金属膜22 要求在其界面内较少地和Ni-Fe-Co基磁膜反应, 并且也要求是非磁性的。因此, Cu、Ag、Au等是用作非磁金属膜22的合适材料。如果这非磁金属膜22的厚度小于1nm, 则难于实现图16A所示的状态, 其中软磁膜21和硬磁膜23是磁耦合的, 并且在具有各自不同的矫顽力的软磁膜21和硬磁膜23中的自旋排列方向彼此将不平行。

在另一方面, 如果非磁金属膜22超过10nm, 则在没有磁阻效应的非磁金属膜22部分的电阻将减小整个磁阻效应器件的电阻的变化。因而, 非磁金属膜22的厚度最好设在1至10nm的范围内。

例11

借助于溅射在玻璃基片上形成具有下列结构的磁阻器件(试样号NOS. A2、B2、C2)

A2: [Co-Fe(3)/Cu(2)/Ni-Fe(14)/Cu(2)]

B2: [Co-Fe(3)/Au(2)/Ni-Co(14)/Au(2)]

C2: [Co-Fe(3)/Ag(2)/Ni-Co-Fe(14)/Ag(2)]

Ni-Fe、Ni-Co、Ni-Co-Fe以及Co-Fe的成分比被设定为 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.2}$ 、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}$ 以及 $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ 。膜厚由功率及溅射速度控制。

用同样方式,使用 $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ 和 $\text{Ni}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.1}$ 作靶子,在玻璃基片上形成具有下列结构的磁阻器件(试样号: D2、E2和F2)

D2: [Co-Fe(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

E2: [Co-Fe(3)/Ag(2)/Ni-Co-Fe(14)/Ag(2)]

F2: [Co-Fe(3)/Au(2)/Ni-Co-Fe(14)/Au(2)]

所获得的磁阻器件A2至F2试样的不同特性,即在室温下的电阻变化率 $\Delta R/R$ 以及在上升部分的转换磁场 H_t 示于表1。用振动型磁强计测量磁化强度,用四端方法使用表1的试样测量电阻的改变值,同时垂直于电源的方向上施加外部磁场,以便改变磁场。

[表1]

试样号	电阻改变比 $\Delta R/R(\%)$	转换磁场 $H_t(Oe)$
A2	6	14
B2	4	9
C2	5	15
D2	7	8
E2	3	15
F2	4	7

在磁场中溅射膜，使得呈现软磁的磁膜的平缓轴线和呈现半硬磁的平缓轴线直角相交。膜的磁阻效应通过在呈现软磁的磁膜的硬磁化轴的方向上施加磁场进行测量。表1所示的膜的转换磁场 H_t 是硬磁化轴方向的值。

从表1可明显看出，本例的磁阻效应器件呈现出实用的特性，即在室温下以及在上升部分相当小的转换磁场 H_t 下，器件呈现大的电阻改变率 $\Delta R/R$ 。

例12

以和例11相同的方式，在玻璃基片上形成具有下列结构的磁阻器件(试样号A3、B3、C3)：

A3: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Fe(14)/Cu(2)]

B3: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co(14)/Cu(2)]

A3: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

Ni-Fe、Ni-Co、Ni-Co-Fe和Co-Fe-V的成分比分别为 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.2}$ 、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}$ 和 $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.46}\text{V}_{0.04}$ 。膜厚由功率和溅射速度控制。

用相同的方式，使用 $\text{Co}_{0.49}\text{Fe}_{0.46}\text{V}_{0.05}$ 和 $\text{Ni}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.1}$ 作靶子，在玻璃基片上形成具有下列结构的磁阻器件(试样号D3、E3、F3)：

D3: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

E3: [Co-Fe-V(3)/Ag(2)/Ni-Co-Fe(14)/Ag(2)]

F3: [Co-Fe-V(3)/Au(2)/Ni-Co-Fe(14)/Au(2)]

所获得的磁阻器件A3到F3试样的不同特性，即在室温下的电阻改变率 $\Delta R/R$ 以及在上升部分的磁场强度 H_t 如表2所示。用振动型磁强计测量磁化强度。使用表2所示的试样用四端方法，在施加垂直于电流方向的外部磁场以便改变磁场的同时测量电阻的改变值。

表2

试样号	电阻改变率 $\Delta R/R(\%)$	转换磁场 $H_t(\text{Oe})$
A3	7	10
B3	5	8
C3	4	11
D3	8	6
E3	5	12
F3	4	7

在磁场中进行膜的溅射，使得呈现软磁性的磁膜的平缓轴和呈现半硬磁的磁膜的平缓轴呈直角相交。膜的磁阻效应通过在呈现软磁的磁膜的磁化硬轴的方向施加磁场进行测量。表2所示的膜的转换磁场 H_t 是磁化硬轴方向的值。

从表2可明显看出，这一试样的磁阻效应器件具有实用的特性，就是说，器件在室温下表现出大的电阻改变率 $\Delta R/R$ 和在上升部分相当小的转换磁场 H_t 。

例13

以和例11到12相同的方式，在玻璃基片上通过用溅射形成具有下列结构的磁阻器件(试样号A4, B4, C4)。

A4: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Fe(14)/Cu(2)]

B4: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co(14)/Cu(2)]

C4: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

Ni-Fe、Ni-Co、Ni-Co-Fe以及Co-Fe-V被设定为: $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.2}$ 、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}$ 以及 $\text{Co}_{0.52}\text{Fe}_{0.39}\text{V}_{0.09}$ 。膜的厚度由功率和溅射速度控制。

以相同的方式，使用 $\text{Co}_{0.52}\text{Fe}_{0.31}\text{V}_{0.07}$ 和 $\text{Ni}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.1}$ 作靶子，在玻璃基片上形成具有如下结构的磁阻效应器件(试样D4、E4、F4)

D4: [Co-Fe-V(3)/Au(2)/Ni-Co-Fe(14)/Au(2)]

E4: [Co-Fe-V(3)/Ag(2)/Ni-Co-Fe(14)/Ag(2)]

F4: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

所得到的磁阻器件A4至F4试样的不同特性，即在室温下的电阻改变率 $\Delta R/R$ 、在上升部分的转变磁场 H_t 以及器件的饱和磁场 H_s 如表3所示。用振动型磁强计测量磁化强度。使用表3所示的试样，用四端方法在施加垂直于电流方向的外部磁场以便改变磁场的同时测量电阻的改变值。

表3

试样号	电阻改变率 $\Delta R/R(\%)$	转换磁场 Ht (Oe)	饱和磁场 Hs (Oe)
-----	---------------------------	-----------------	-----------------

A4	5	11	450
B4	6	7	300
C4	4	12	330
D4	4	5	400
E4	6	15	420
F4	7	7	360

在磁场中进行膜的溅射，使得呈现软磁性的磁膜的平缓轴(easy axis)和呈现半硬磁膜的平缓轴呈直角相交。膜的磁阻效应通过在呈现软磁的磁膜的磁化硬轴(hard axis)方向施加磁场进行测量，表3所示的膜的转变磁场Ht是磁化硬轴方向的值，而饱和磁场Hs是磁化平缓轴方向的值。

从表3可明显看出，这种试样的磁阻效应器件具有实用特性，适用于磁阻效应器件和磁效应型磁头。那就是说，器件在室温下

表现出大的电阻改变率 $\Delta R/R$ 和上升部分相当小的转变磁场 H_t 以及大的饱和磁场 H_s 。

例14

以和例11到13相同的方式，通过溅射在玻璃基片上形成如下结构的磁阻器件(试样号A5、B5和C5)

A5: [Ni-Fe(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

B5: [Co-Fe(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

C5: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

Ni-Fe、Co-Fe、Ni-Co-Fe 以及Co-Fe-V的成分比分别设定为 $\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ 、 $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ 、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}$ 以及 $\text{Co}_{0.49}\text{Fe}_{0.49}\text{V}_{0.02}$ 。膜厚由功率和溅射速度控制。

以同样的方式，使用 $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ 和 $\text{Ni}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.1}$ 作靶子，在玻璃基片上形成具有下列结构的磁阻器件(试样号D5、E5、F5)：

D5: [Co-Fe(3)/Au(2)/Ni-Co-Fe(14)/Au(2)]

E5: [Co-Fe(3)/Ag(2)/Ni-Co-Fe(14)/Ag(2)]

F5: [Co-Fe(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

所得到的磁阻器件试样A5到F5的不同特性，即在室温下的电阻改变率 $\Delta R/R$ 和上升部分的转变磁场 H_t 示于表4。用振动型磁强

计测量磁化强度。利用四端方法使用表4所示的试样，同时在和电流垂直的方向施加外部磁场以便改变磁场来测量电阻的改变值。

表4

试样号	电阻改变率 $\Delta R/R(\%)$	转换磁场 Ht (Oe)
A5	3	3
B5	6	4
C5	5	3
D5	5	3
E5	6	5
F5	6	5

在磁场中进行膜的溅射，使得呈现软磁性的磁膜的平缓轴和呈现半硬磁的磁膜的平缓轴呈直角相交。膜的磁阻效应通过在呈现软磁的磁膜的磁化硬轴方向施加磁场进行测量，表4所示的膜的转变磁场Ht是磁化硬轴方向的值。

由表4可明显看出, 这种试样的磁阻效应器件具有适用于高灵敏度磁阻效应器件、磁阻效应型磁头和记忆器件的实用特性, 就是说, 通过使软磁膜的厚度大于半硬磁膜的厚度, 器件便呈现出更陡的特性和上升部分较小的转变磁场 H_t 。

例15

以例11到14相同的方式, 通过溅射在玻璃基片上形成具有下列结构的磁阻器件(试样号A6、B6和C6):

A6: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Fe(14)/Cu(2)]

B6: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co(14)/Cu(2)]

C6: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

Ni-Fe、Ni-Co、Ni-Co-Fe和Co-Fe-V的成分比分别为 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.2}$ 、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Fe}_{0.1}$ 和 $\text{Co}_{0.49}\text{Fe}_{0.49}\text{V}_{0.02}$ 。膜厚由功率和溅射速度控制。

以同样方式, 使用 $\text{Co}_{0.48}\text{Fe}_{0.49}\text{V}_{0.03}$ 和 $\text{Ni}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.1}$ 作靶子, 在玻璃基片上形成具有以下结构的磁阻器件(试样号D6、E6和F6)

D6: [Co-Fe-V(3)/Au(2)/Ni-Co-Fe(14)/Au(2)]

E6: [Co-Fe-V(3)/Ag(2)/Ni-Co-Fe(14)/Ag(2)]

F6: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

得到的试样A6到F6的不同特性，即在室温下的电阻改变率 $\Delta R/R$ ，上升部分的磁场 H_t 以及饱和磁场 H_s 示于表5。用振动型磁强计测量磁化强度，用四端方法使用表5所示的试样在施加垂直于电流方向的磁场以便改变磁场的同时测量电阻的改变值。

表5

试样号	电阻改变率 $\Delta R/R(\%)$	转换磁场 H_t (Oe)	饱和磁场 H_s (Oe)
A6	4	5	50
B6	5	7	60
C6	4	9	45
D6	5	5	70
E6	6	10	40
F6	6	6	40

膜在磁场中被溅射，使得呈现软磁性的磁膜的平缓轴和呈现半硬磁的磁膜的平缓轴呈直角相交。膜的磁阻效应通过在呈现软

磁的磁膜的磁化硬轴方向施加磁场进行测量。表5所示的膜的转变磁场 H_t 是磁化硬轴方向的值，而饱和磁场 H_s 是磁化平缓轴方向的值。

由表5可明显看出，本例试样呈现出适用于记忆器件的实用特性，那就是说，器件在室温下具有大的磁阻改变率 $\Delta R/R$ ，上升部分相当小的转变磁场以及小的饱和磁场 H_s 。

例16

在本例中，使用磁阻器件生产MR磁头。使用如下的磁阻效应膜形成磁头。

A7: [Ni-Fe(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

B7: [Co-Fe(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

C7: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

Ni-Fe、Co-Fe、Co-Fe-V以及Ni-Co-Fe的成分比分别设定为 $Ni_{0.5}Fe_{0.5}$ 、 $Co_{0.5}Fe_{0.5}$ 、 $Co_{0.52}Fe_{0.39}V_{0.09}$ 以及 $Ni_{0.7}Co_{0.2}Fe_{0.1}$ 。

所获得的试样的不同特性，即电阻改变率 $\Delta R/R$ 和输出率示于表6。

表6

试样号	电阻改变率 $\Delta R/R(\%)$	输出率 Ht (Oe)
A7	6	3.4
B7	5	4.1
C7	6	3.9

膜在磁场中被溅射，使得呈现软磁性的磁膜的平缓轴和呈现半硬磁的磁膜的平缓轴呈直角相交。迭放循环设定为3。表6所示的电阻改变率 $\Delta R/R$ 是形成磁头以前测得的。表6所示的输出率由把本例MR磁头的输出和常规的MR磁头的输出相比较而得到。从表6可明显看出，按照本例的MR磁头，可得到比常规磁头较大的输出。

例17

在本例中，借助于光刻技术使用磁阻元件生产了图4所示的记忆器件。使用如下的磁阻效应膜形成记忆元件

A8: [Ni-Fe(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

B8: [Co-Fe(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

C8: [Co-Fe-V(3)/Cu(2)/Ni-Co-Fe(14)/Cu(2)]

Ni-Fe、Co-Fe、Co-Fe-V以及Ni_{0.5}Co-Fe的成分比分别为Ni_{0.5}Fe_{0.5}、Co_{0.5}Fe_{0.5}、Co_{0.49}Fe_{0.49}V_{0.02}以及Ni_{0.7}Co_{0.2}Fe_{0.1}。

按如下方式进行测量。首先，通过导线5加上+100mA的电流，借以在一个方向磁化半硬磁膜1'，以便记录信息。通过加以±50mA的电流信号给导线5，使软磁膜3反向磁化而读出信息。使用示波器测量电阻的改变，也就是电压的改变。测量的输出波形示于图20A。接着，与图20A所示情况相反，通过导线5加以-100mA的电流，借以在相反的方向上磁化半硬磁膜1'，以便记录信息。通过导线5加一±50mA的电流信号读出信息。以同样方式，使用示波器测量电阻的改变即电压的改变。测量的输出波形示于图20B。由这些实验结果可以看出，信息可以被容易地记录和再现。

在下面例子18至23中，将说明使用在基片上外延地形成多层结构的磁阻效应器件的本发明的实施例。

本发明的磁阻效应器件包括由几组膜构件的多层结构，每组包括主要由Co、CoPt，或CoFe制成的硬磁膜以及主要由NiFe或NiFeCo制成的软磁膜，其间插入厚度为2到10nm的主要由Cu制成的非磁性金属膜，多层结构外延地形成在基片上，使得[100]方向是垂直于膜表面的方向，而要被检测的磁场方向是在Cu膜平面内的[011]方向。

关于软磁膜，最好使用主要由NiFe或NiFeCo制成的膜。尤其是一种富Ni软磁膜，其原子成分为Ni_xCo_yFe_z，其中 $0.6 \leq x \leq 0.9$ ， $0 \leq y \leq 0.4$ ， $0 \leq z \leq 0.3$ ，或一种富钴软磁膜，原子成分为Ni_{x'}Co_{y'}Fe_{z'}，其中 $0 \leq x' \leq 0.4$ ， $0.2 \leq y' \leq 0.95$ ， $0 \leq z' \leq 0.5$ 是

希望使用的。上述成分的膜具有低的磁畸变特性(在 1×10^{-5} 数量级或更小), 这是MR传感器和MR磁头所需要的。

关于硬磁膜, 可以使用主要由Co或更理想的是主要由CoPt 制成的膜。CoPt膜比Co膜更适合作硬磁膜, 因为CoPt 膜具有大的矫顽力, 因而和Co膜相比不容易被反向磁化。CoPt 膜最好具有原子成分为 $\text{Co}_{1-x}\text{Pt}_x$, 其中 $0 \leq x \leq 0.4$ 。当 $x > 0.4$ 时, MR比减小。在某些情况下, CoFe膜可很好地用作硬磁膜。CoFe 膜提供相对小的矫顽力, 这便使得当器件用作记忆器件时写操作容易, 因而减小在写操作期间加于导线的电流。CoFe膜的原子成分最好是 $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$, 其中 $0.3 \leq x \leq 0.7$, 更好为 $0.4 \leq x \leq 0.6$, 最好 x 接近0.5

在上述结构中, 软磁膜可以先在基片上形成, 或形成在基片上合适的垫层上, 或硬磁膜首先形成。在每种情况下, 这些膜的组最好迭放两次到10次。当只有一组膜迭放时, 合成MR比小, 而当多于10组膜被迭放时, 需要大的操作磁场。

在上述结构中, 表面磁膜最好用合适的保护膜覆盖住, 保护膜由Au、Cr等组成, 以便阻止表面由于氧化而变劣。

多层结构最好通过主要由Cu制成的垫层形成在Si(100)单晶基片上, Cu垫层的厚度应该在1nm到50nm的范围内, 更好在5nm 到50nm的范围内。当Cu垫层的厚度小于1nm时, 磁性材料不在Cu背膜上外延地生长。当Cu垫层的厚度大于50nm时, 垫层的电阻如此之小, 使得合成器件的电阻可能减小。

本发明的磁阻效应器件可以包括在基片上形成的多层结构, 多层结构由多组膜构成, 每组膜包括主要由Co、CoPt或CoFe 制成的硬磁膜或主要由NiFe或NiFeCo制成的软磁膜, 在其间插入主要

由Cu制成的厚度为2到10nm的第一非磁金属膜。在本实施例中，第二非磁金属膜主要由Ag或Au制成，厚度为0.1至0.4nm，插在第一非磁金属膜中。最好第二非磁金属膜主要由银制成。

最好上述多层结构这样形成，使得(100)平面沿和膜表面平行的方向外延地生长，并且要被检测的磁场方向基本上为多层结构平面的方向[011]。就是说，膜的方向[100]垂直于膜平面。多层结构可以通过主要由Cu制成的垫层形成在Si(100)单晶基片上。

磁阻效应器件可以包括形成在基片上的多层结构，多层结构由几组膜构成，每组具有主要由Co、CoPt或CoFe构成的硬磁膜和主要由NiFe或NiFeCo制成的软磁膜，在其间插入非磁金属膜。在本实施例中，至少两个厚度在1到10nm范围内的两个相邻的软磁膜迭放着，其间插入非磁金属膜，并且在硬磁膜和连续的软磁膜中间插有非磁金属膜迭放着。

最好在连续的软磁膜和硬磁膜之间的非磁金属膜的厚度大于连续的软磁膜之间非磁金属膜的厚度。

在连续软磁膜之间形成的非磁金属膜最好由主要由Cu制成的单一膜构成，而在连续软磁膜和硬磁膜之间的非磁金属膜由主要由Cu制成的膜构成，其中插入Ag或Au膜。

最好多层结构这样外延地形成，使得(100)平面处在平行于膜平面的方向，并且要被检测的磁场方向基本上为Cu膜平面的[011]方向。

磁阻效应器件可以包括由几组膜构成的多层结构，每组具有主要由Co、CoPt或CoFe制成的硬磁膜以及主要由NiFe或NiFeCo制成的软磁膜，其间插入非磁金属膜。在本实施例中，至少两个厚

度为1至10nm的连续的硬磁膜迭放放置，其间插有非磁金属膜，并且至少两个厚度为1到10nm的连续的软磁膜迭放放置，其间插有非磁金属膜。连续的硬磁膜和连续的软磁膜迭放放置，其间插有非磁金属膜。连续的硬磁膜和连续的软磁膜之间的非磁金属膜的厚度大于连续的软磁膜之间或连续的硬磁膜之间的非磁金属膜的厚度。

最好连续的软磁膜之间或连续的硬磁膜之间的非磁金属膜主要用Cu制成的单一膜构成，而在连续的软磁膜和连续的硬磁膜之间的非磁金属膜由其中插有Ag或Au膜的主要由Cu制成的膜构成。

最好多层结构被外延地形成，使得(100)平面处于平行于膜平面的方向，要被检测的磁场方向基本上为Cu膜平面的[011]方向。

可以把本发明的磁阻效应器件应用于记忆器件来提供磁记忆器件。作为一种基本结构，磁记忆器件包括：器件部分，它具有主要由Co、CoPt或CoFe制成的硬磁膜和主要由NiFe或NiFeCo制成的软磁膜和主要由Cu制成的厚度为2至10nm的非磁金属膜，外延地形成在基片上，使得(100)平面平行于膜表面，以及通过电绝缘膜置于器件部分附近的导体。磁记忆器件被这样构成，使得要被记录的磁化方向基本上为Cu膜平面的[011]方向。

按照本发明，可把本发明的磁阻效应器件用于放大器来提供一种放大器。作为一种基本结构，这种放大器包括：具有主要由Co、CoPt或CoFe制成的硬磁膜以及软磁膜的器件部分，软磁膜主要由NiFe或NiFeCo制成，并具有厚度为2到10nm的主要由Cu制成的非磁金属膜，外延地形成在基片上，使得(100)平面平行于膜表面，并通过电绝缘膜把一导体置于器件部分附近。放大器被这样构成，

使得操作磁性膜的磁化方向基本上在Cu膜的平面[011]方向。

此外，通过把本发明应用于磁头可以提供一种磁头。作为一种基本结构，磁头包括器件部分，具有主要由Co、CoPt或CoFe制成的硬磁膜和主要由NiFe或NiFeCo制成的软磁膜，并具有厚度为2到10nm的主要由Cu制成的非磁金属膜，外延地形成在基片上，使得(100)平面平行于膜表面，并且提供磁轭以便形成器件部分的公共磁路。磁头被这样构成，使得操作磁性膜的磁化方向基本上为Cu膜的[011]方向。

按照本发明，因为是借助于在基片上外延地生长晶体而形成多层结构，便可以避免生成非均匀薄膜，例如岛形薄膜。已经知道，磁性膜和非磁性金属膜之间的界面条件对人造多层膜的磁阻效应有影响。按照本发明，外延生成的膜具有扁平的表面，因而可以获得大的磁阻效应。和(111)膜相比，(100)晶体平面平行于基片表面的[NiFe/Cu]和[Co/Cu]外延膜具有弱的磁性相关。因而(100)膜适合于用低磁场产生反向磁化。当(100)外延膜用于磁阻效应器件时，要求施加基本上为Cu膜平面内[011]方向的磁场。这是因为，在(100)外延膜中，NiFe或NiFeCo膜的磁化平缓轴在Cu膜的平面内的[011]方向。因此，通过在这一方向施加磁场，可以实现减少磁场并增加MR值。

Si(100)单晶适合于用作生成外延膜的基片、Si基片可在市场上廉价地得到，因为它们被大量生产以便制造半导体器件。这种Si(100)基片经过氢氟酸处理，以便除去表面上的氧化膜。通过这一处理，就能在室温下外延地生成Cu。这一处理是有益的，因为不需要在真空中预热Si基片的步骤。背衬铜膜的厚度范围为1到

50nm, 更好为5至50nm。当Cu垫层的厚度小于1nm时, 则难于在垫膜上外延地形成多层膜。当垫层厚度超过50nm时, 则垫层的电阻就如此之小, 以致使MR率减小。

本发明的磁阻效应器件最好用薄膜形成技术制造, 例如溅射和蒸汽淀积。不过, 当通过蒸汽淀积在玻璃基片上形成薄膜时, 晶粒趋向于被淀积成斑点的岛形, 使得难于形成光滑的表面。按照本发明的制造方法, 外延地在单晶基片上形成薄膜, 从而在磁膜和非磁金属膜之间形成光滑的表面, 借以实现大的MR率。

最好使用铜作本发明的磁阻效应器件的非磁金属膜。因为铜膜较薄, 磁性膜之间的相互作用就较大, 这样便使磁阻效应器件的操作磁场较大。因此, Cu非磁金属膜的厚度应该最小为2nm, 最好至少为5nm。当Cu非磁膜的厚度大于10nm时, 则MR率降低, 这是因为这一厚度超过了电子的平均自由路径。因此, 厚度应该小于10nm。在Cu非磁膜内可以插入厚度为0.1至0.4nm的Ag或Au膜。在这种情况下, Cu膜的操作磁场降低而不使MR值有大的减小。所考虑的理由如下: 磁性膜通过在它们之间插入的非磁膜中的导电电子而相互作用。铜非磁膜的波函数受到插入不同于Cu非磁膜中的Cu原子的其它原子的膜干扰, 从而降低磁性相互作用, 并因而有助于磁膜的磁矩方向的转动。Ag或Au可用作磁插入膜, 尽管Ag更好一些。当插入膜的厚度是0.1nm或更多时, 这种插入膜是有效的, 虽然当厚度为0.2nm或更多时更为有效。当插入膜的厚度是0.4nm或较小时, MR值不会显著减小。然而, 当厚度超过0.4nm时, 外延取向则受到大的干扰, 从而降低MR值以及磁膜的结晶。

本发明的磁膜的厚度范围最好为1到10nm。尤其是软磁膜最好

至少为1nm, 至少为3nm更好, 因为太薄的软磁膜的软磁特性差。

此外, 考虑到电子的平均自由路径, 当两组或多组[硬磁膜/ 非磁金属膜/软磁膜]迭放并在每组之间插入非磁金属膜时, 每个磁膜的厚度最好为10nm或较小。

按照本发明的另一种磁组效应器件, 两个或多个连续的软磁膜迭放并在任何相邻的软磁膜之间插入非磁金属膜, 如图23所示。相邻的软磁膜之间的非磁金属膜的厚度这样来选择, 使得软磁膜之间的耦合可以是铁磁性的。利用这一结构, 和只用一层软磁膜的情况相比, 软磁膜的矫顽力可以减小。这样便能制造用较小的磁场操作的磁阻效应器件。此外, 连续的软磁膜的结构和单层软磁膜相比会增加MR率, 因为磁膜/非磁金属膜的接合面的数量增加。连续的软磁膜之间的非磁金属膜的厚度应当使得在软磁膜之间产生铁磁耦合, 其范围最好为大约0.2到0.7nm或1.1到1.7nm, 更好大约为0.5nm或1.5nm。

按照本发明的另一种磁阻效应器件, 两个或多个连续的软磁膜迭放, 任何相邻的软磁膜之间插入非磁金属膜, 并且两个或多个相连续的硬磁膜迭放, 任何相邻的硬磁膜之间插入非磁金属膜, 如图24所示。可以得到上述的使用连续的软磁膜得到的相同的效果。此外, 连续的硬磁膜的结构比单层硬磁膜增加MR率, 因为磁性膜/非磁性膜接合面数量增加。如同连续的软磁膜的情况, 连续硬磁膜之间的非磁金属膜的厚度应当使得在硬磁膜之间可以产生铁磁耦合。其厚度最好在大约0.2到0.7nm或1.1到1.7nm的范围内, 更好为大约0.5nm或1.5nm。

本发明的磁阻效应器件适用于如图4所示的记忆器件和放大器。

图26说明了本发明的磁阻效应器件的MR曲线的一个例子。由图26可见，高电阻和低电阻在一小的磁场内转变，具有良好的矩形特性。因而，当这种器件用于记忆器件时，可得到高可靠性的记录与读出。当把器件用于放大器时，可以获得稳定的输出。在这样制造的记忆器件中，硬磁膜101的矫顽力可以通过改变硬磁膜的厚度和改变用于硬磁膜的CoPt的成分作某种程度的改变。结果，可以生产出具有对导线5的写能力合适的矫顽力的硬磁膜。

绝缘膜6最好尽量的薄，使得由[硬磁膜101/非磁金属膜102/软磁膜103]构成的器件部分尽可能地靠近导线5，以便使器件部分磁化。因为器件部分离导体5较近，同样的电流便可产生大的磁场，因而器件部分可用较小的电流激励。然而，绝缘膜6的厚度要求至少为5nm，以便避免由于过热的绝缘性能带来的诸如特性变差的麻烦。考虑到可以产生磁场用来磁化硬磁膜101(在硬磁膜101上写信息)的磁化范围，还要求厚度最好为1 μ m为更小。考虑到可处理性以及平坦性，SiO₂是合适的绝缘材料。但是其它材料也可以使用，只要它具有绝缘性能。

导体5可以制成条状，如图4所示，此时它被用于记忆器件。在以矩阵排列记忆器件的情况下，导体5可以这样构成，使得在磁阻效应器件上的两个导体不互相交叉，如图15A所示，或两个导体相互交叉，如图15B所示。

本发明的磁阻效应器件在如上述的低磁场内产生大的磁阻改变，它还可被用于磁头。然而，因为外延膜被用于本发明的磁阻效应器件，而在铁氧体基片上形成外延膜是困难的，这就需要把本发明用于磁头时加以特殊的考虑。图29表示本发明用于磁头

的一种示例性的基本结构。在图29中，器件部分109形成在Si基片107上，并被绝缘膜110覆盖。绝缘膜110可以由包括 Al_2O_3 的各类材料制成，但 SiO_2 是最好的。在绝缘膜110上形成轭111，并且在绝缘膜110变薄的部分和器件部分109是磁耦合，借以形成磁路。轭111最好由软磁材料并且具有高导磁率的材料制成，例如Co族的非晶形磁膜。从磁记录介质漏出的磁通直接从左方进入器件部分109，如图29所示，并且被转换成电信号。

例18

使用超高真空淀积设备制造了磁阻效应器件，用Si(100)单晶作基片。首先用7%的氢氟酸处理Si(100)基片，以便除去表面上的任何氧化膜，然后用纯水充分清洗。再把基片放于超高真空设备中，在大约 2×10^{-9} 托的真空下形成垫层和多层结构A：

A9: Si(100)/Cu(50)/[Co(3)/Cu(6)/NiFe(3)/Cu(6)]¹⁰

除Si(100)之外，圆括号内的值代表厚度(nm)，上标10代表在[]的一组膜被迭放10次)

在上述膜形成过程中，使用Knudsen室作为Cu的蒸发源，而用电子束蒸发源作为Co和Ni Fe的蒸发源。Knudsen室提供蒸发速度稳定的淀积，这样适用于获得高质量的薄膜，虽然发现蒸发具有高熔点的基片是困难的。因此Knudsen室适用于Cu和Ag的淀积(Ag的淀积下面讨论)。对NiFe使用提前准备的Ni_{0.8}Fe_{0.2}(其成分用原子数的比表示，此后称为原子成分)的合金的蒸发源。每个膜是否外延地生成由RH EED(反射高能电子偏转)在膜形成过程期间进

行监视。观察结果发现,膜在迭放方向按关系Si(100)//Cu(100)//Co(100)//NiFe(100)以及在膜平面方向按Si[001]//Cu[011]//Co[011]//NiFe[011]生成。(100)代表(100)晶体平面。在膜形成过程之后,合成的多层结构用X线偏转进行检查。结果观察到了相应于Cu(200)的尖峰,但没有观察到相应于(111)和(220)的尖峰。为了比较,在玻璃基片上通过5nm厚的Cr垫层制造了同样的多层结构的磁阻效应器件。

这些磁阻效应器件在室温下用四端法在500 Oe 的最大磁场下进行了测量。在测量中,在基片上的Cu垫层的平面内沿[001]和[011]两个方向施加磁场。测量结果对于器件A9 和对照例器件分别示于图27A和27B。在图27A和27B中,X轴代表外部施加的磁场,而Y轴代表MR率。图27A的实线是在Cu垫膜的平面内[011]方向施加磁场时得到的曲线,而虚线为在Cu垫膜平面内[001]方向施加磁场所获得的曲线。由图27A可见,发现当磁场沿[011]方向施加时比沿[001]方向施加时MR率较大而且变化更陡。由上面的MR曲线和图27B所示的用玻璃基片的对照例的图27B所示的MR曲线的对比中可见,磁阻效应器件A的MR曲线在零磁场附近具有好的线性和陡的变化。在图27B所示的对照例中,难于观察到MR率对磁场方向的依赖性。在图27A中,借助于使Cu垫膜变薄可以使MR率增大。当器件A的Cu垫层的厚度变为5nm而不改变其它条件时,得到的器件可以提供近似10%的MR率,MR曲线基本上和图27A相同,虽然其结晶性或多或少地降低。

在例18中,用Co作硬磁膜。通过使用CoPt 作为硬磁膜可以进一步增加MR率。CoPt膜借助于使用单独的蒸发源同时蒸发Co 和Pt

形成,从而获得 $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ 的原子成分。这样制成的磁阻效应器件

A9': $\text{Si}(100)/\text{Cu}(50)/[\text{CoPt}(3)/\text{Cu}(6)/\text{NiFe}(3)/\text{Cu}(6)]^{10}$
具有大约8%的MR率,比器件A9大大约1%。

例19

以和例18相同的方式制造了图22所示的多层型结构的磁阻效应器件:

B9: $\text{Si}(100)/\text{Cu}(50)/[\text{Co}(3)/\text{Cu}(2.5-X/2)/\text{Ag}(X)/\text{Cu}(2.5-X/2)/\text{NiFe}(3)/\text{Cu}(2.5-X/2)/\text{Ag}(X)/\text{Cu}(2.5-X/2)]^{10}$ 。

象Cu的情况一样使用Knudsen室蒸发Ag。这种情况下Knudsen室适用于生成高精度的薄膜。当X是0、0.1、0.2和0.4nm时,磁阻效应器件B9的MR曲线示于图28A到28D中。由图28A到28D可见,当Ag膜的厚度是0.1nm和0.2nm时,对于[011]方向在接近零磁场的MR曲线急剧上升。当Ag膜厚度是0.4nm或更多时,结晶性变差,从而减小MR率并失去作为显著特性的方向性。通过设X为0.2nm,垫层厚度为5nm,获得了最大MR曲线, $\text{MR}/\Delta H = 1.3\%/\text{Oe}$ 。

所谓三明治(Sandwich)型磁阻效应器件

C9: $\text{Si}(100)/\text{Cu}(5)/\text{NiFe}(10)/\text{Cu}(5)/\text{Co}(10)$

D9: $\text{Si}(100)/\text{Cu}(5)/\text{NiFe}(10)/\text{Cu}(2.4)/\text{Ag}(0.2)/\text{Cu}(2.4)/\text{Co}(10)$

分别具有3.5%和4.3%的MR率,显著地大于用玻璃基片的对照例:

对照例: 玻璃/ $\text{Cr}(5)/\text{NiFe}(10)/\text{Cu}(5)/\text{Co}(10)$ 的MR率为1.5%

也可以借助于在软磁膜和非磁性金属膜之间形成Co膜来增加MR率。具有这种结构的磁阻器件:

C9': Si(100)/Cu(5)/NiFe(10-t)/Co(t)/Cu(5)/Co(10) 当t为0.2, 0.5, 1.0和2.0nm时, 分别具有4.0%, 5.0%, 4.5%和3.5%的MR率。插入的Co膜的厚度最好在0.1nm到1.0nm的范围内。在软磁膜和非磁金属膜之间的这种Co的插入对多层结构也是有效的。

借助于使用NiFeCo作软磁膜, 代替上例中的Ni_{0.8}Fe_{0.2}可以进一步提高MR率。例如, 当器件C9的NiFe膜用Ni_{0.7}Co_{0.1}Fe_{0.2}代替时, MR率将增大约1%, 达到4.5%。

利用溅射在上述三明治型器件上形成SiO₂绝缘膜和Au/Cr膜作为导体, 制成了记忆器件。得到的记忆器件的操作用下述方式试验: 如图6A所示, 对导体5加以强电流, 以便对硬磁膜1'(101) 在一个方向进行磁化。如图6B所示, 对导体5加一弱电流, 以便在一个方向校准软磁膜103。然后, 如图6C所示, 在导体5 中的弱电流被反向, 并且在此时测量磁阻器件部分电阻的变化。结果表明, 电阻的改变根据在硬磁膜101上记录的磁化方向而呈现+(增加) 或-(减少), 如图6D所示, 这电阻变化是对照例器件C9的两倍, 器件D9的三倍。在使用Co_{0.5}Fe_{0.5}膜代替D9的Co膜以同样方式制造记忆器件的情况下, 则电阻的改变为对照例的4倍。

如图4所示的具有三明治型结构的[硬磁膜/非磁性金属膜/软磁膜]的记忆器件已经说明了。本发明对图25所示的多层记忆器件和图21到24所示的多层结构的记忆器件也是有效的。不过, 当磁阻效应器件用于记忆器件时, 矩形特性是非常重要的。因而, 具有由Cu/Ag/Cu构成的非磁金属膜的图4所示的三明治型器件是理想的。

在图4以及6A到6D中, 记忆器件是包括一个导体5。本发明对

具有两个导体的记忆器件也是有效的。例如，这种导体可排列成矩阵，借助于使用流过交叉的两个导体的电流产生的同步磁场在导体的每个交叉处进行写操作。

同样的器件应用于放大器，并对其操作进行了试验。如图8A所示，在导体5上加一强电流，以便使硬磁膜1' (101) 在一个方向进行磁化。如图8B所示，输入交流电压加于导体5，测量由电阻的变化引起的输出电压的变化。结果表明，输入电压被放大了，如图8C所示。输出电压的幅值对器件C9是对照例的两倍，对器件D9是对照例的三倍。和对照例相比，在低噪声方面器件C9和D9也优于对照例。

用溅射方法在器件C9上形成 SiO_2 绝缘膜和 $\text{Co}_{0.82}\text{Nb}_{0.12}\text{Zr}_{0.06}$ 钽膜制成了磁头。得到的本发明的磁头的输出是用上述同样方式记录的NiFe常规磁头的两倍。

例20

以例18、19所述的方式制造了图23所示的磁阻效应器件：

E9: $\text{Si}(100)/\text{Cu}(5)/\text{NiFe}(3)/\text{Cu}(0.5)/\text{NiFe}(3)/\text{Cu}(0.5)/\text{NiFe}(3)/\text{Cu}(5)/\text{Co}(10)$

F9: $\text{Si}(100)/\text{Cu}(5)/\text{NiFe}(3)/\text{Cu}(0.5)/\text{NiFe}(3)/\text{Cu}(0.5)/\text{NiFe}(3)/\text{Cu}(2.4)/\text{Ag}(0.2)/\text{Cu}(2.4)/\text{Co}(10)$ 。

器件E9, F9的MR率为5.6%，大于器件C9, D9。

例21

以例18到20的方式制造了图24所示类型的磁阻效应器件：

G9: Si (100) /Cu (5) / [Co (3) /Cu (1.5) /Co (3) /Cu (6)
/NiFe (3) /Cu (1.5) /NiFe (3) /Cu (6)]³

H9: Si (100) /Cu (5) / [Co (3) /Cu (1.5) /Co (3) /Cu (2.4) /Ag (0.2)
/Cu (2.4) /NiFe (3) /Cu (1.5) NiFe (3) Cu (6)]³

器件G9、H9的MR率在100e时分别为10%和12%。

例22

以例18到21 所述的方式用玻璃基片制造了玻璃基片的磁阻效应器件：

I9: 玻璃/Cr (5) / [CoPt (3) /Cu (5) /CoNiFe (3) /Cu (1.5)
/CoNiFe (3) /Cu (5)]³

J9: 玻璃/Cr (5) / [CoPt (1.5) /Cu (0.5) /CoPt (1.5)
/Cu (5) /CoNiFe (3) /Cu (1.5) /CoNiFe (3) /Cu (5)]³

对照例: 玻璃/Cr (5) / [CoPt (3) /Cu (5) /CoNiFe (6) /Cu (5)]³。

从单独的蒸发源中通过蒸发Co和Pt获得了原子组成为Co_{0.09} Pt_{0.1}的CoPt膜。原子组成为Co_{0.5} Ni_{0.3} Fe_{0.2}的CoNiFe膜使用合金蒸发源进行蒸发。器件I9、J9的MR率为6.7%，而对照例子为4%。

例23

以例18到22所述的方式制造了玻璃基片的磁阻效应器件

K9: 玻璃/[CoPt(3)/Cu(2.4)/Ag(0.2)/Cu(2.4)
/NiFeCo(3)/Cu(2.4)/Ag(0.2)/Cu(2.4)]²

L9: 玻璃/[CoPt(3)/Cu(2.4)/Au(0.2)/Cu(2.4)
/NiFeCo(3)/Cu(2.4)/Au(0.2)/Cu(2.4)]²

对照例: 玻璃/[CoPt(3)/Cu(5)/CoNiFe(3)/Cu(5)]²。

分别用Co_{0.8}Pt_{0.2}膜和Co_{0.6}Ni_{0.3}Fe_{0.1}膜作硬磁膜和软磁膜。这些器件的MR率用例18的方法测量。结果是, 器件K9和L9的MR曲线的最大斜率分别为0.7%/oe和0.6%/oe, 而对照例的斜率为0.4%/oe, 器件K9、L9的MR曲线在零磁场附近急剧上升。

如上所述, 使用这些磁阻效应器件, 可得到磁头、磁记忆器和放大器。

本发明的磁阻效应器件提供了在低磁场下大的磁阻改变。而且, 在室温下呈现大的磁阻效应和小的磁致伸缩。

因而, 借助于把本发明的磁阻效应器件应用于磁头、磁存储器和放大器, 可以得到高灵敏度和高输出的磁头、高可靠性且易写的存储器和高输出高可靠性的放大器。此外, 通过减小饱和磁场H_s, 则能够提供用于记录和再现的记忆器件。

不脱离本发明的构思本领域人员可以作出各种改型, 因而上面的描述并不存在于限制权利要求的范围而是对权利要求的解释。

图 1A

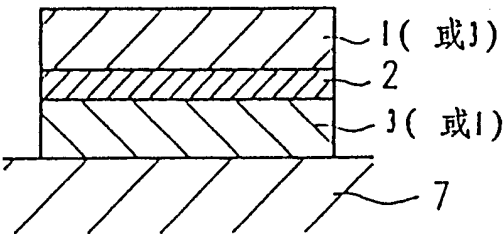


图 1B

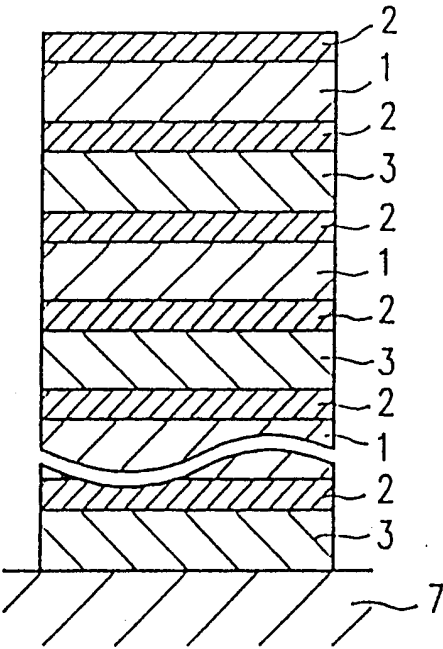
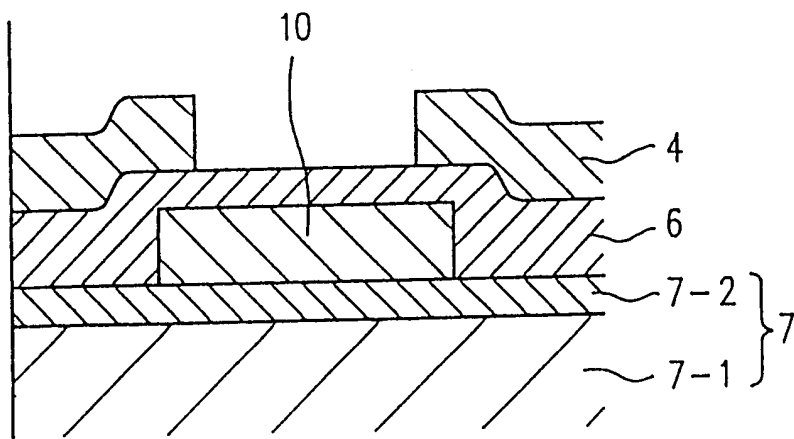


图 3



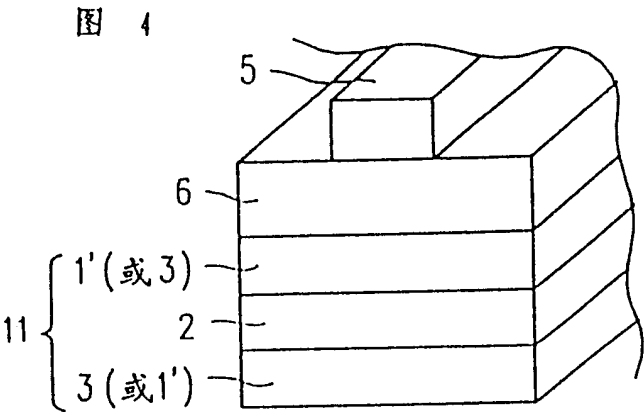


图 5

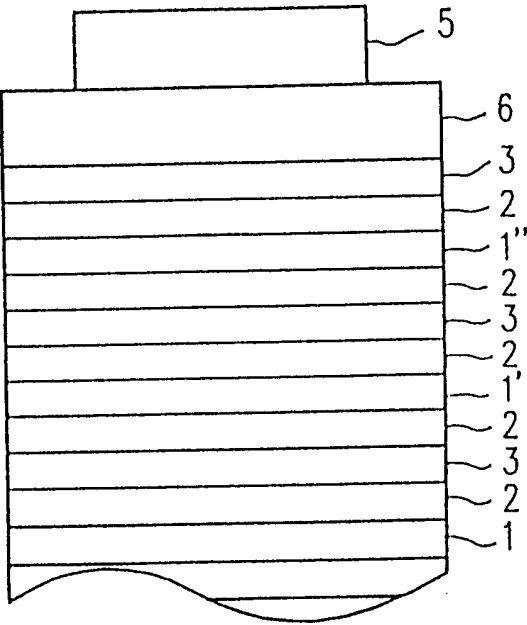


图 6A 用电流记录信息

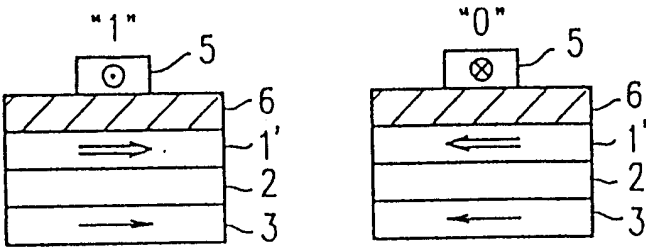


图 6B 用弱电流初始化

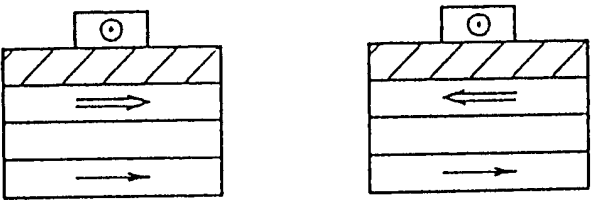


图 6C 弱电流的反向

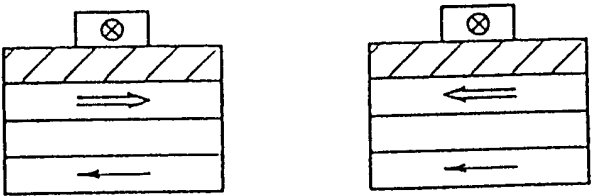


图 6D 磁阻改变部分的电阻改变

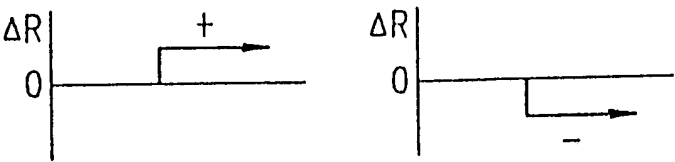


图 1A

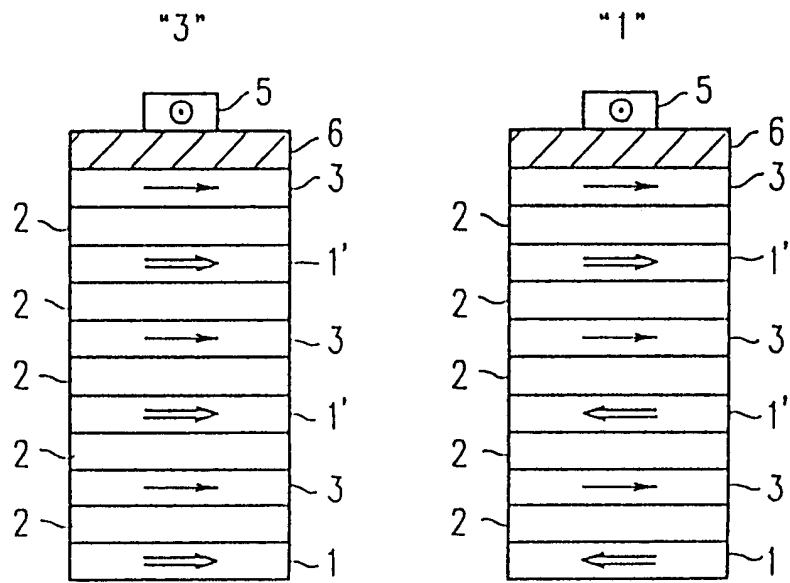


图 1B

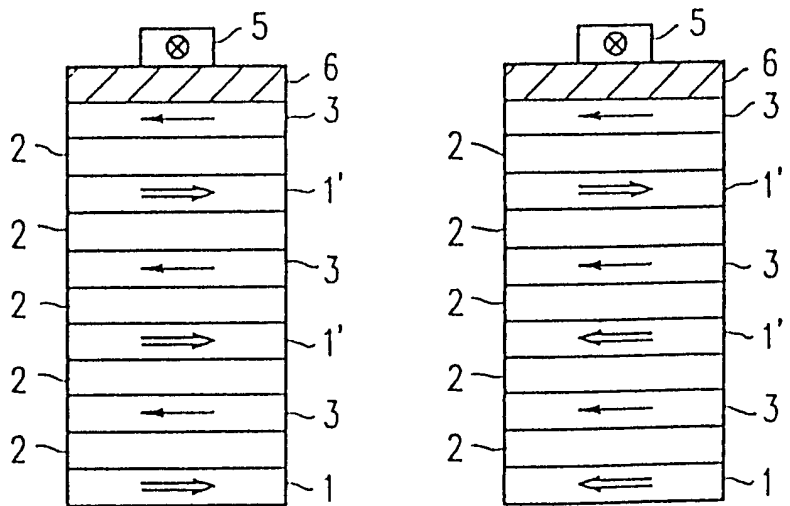


图 1C

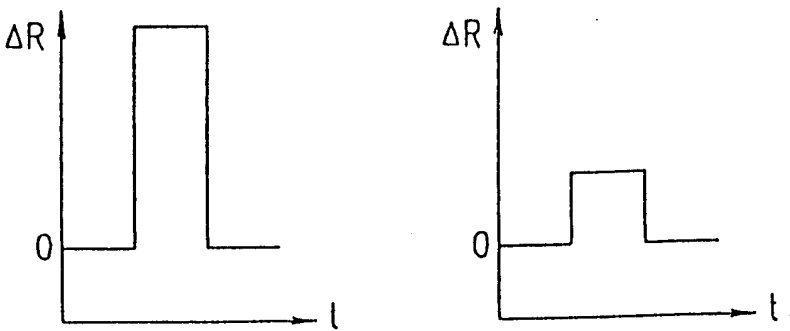


图 8A 初始化

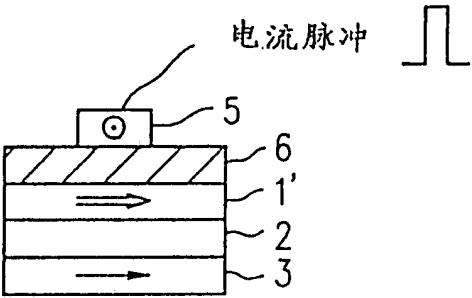


图 8B 放大操作

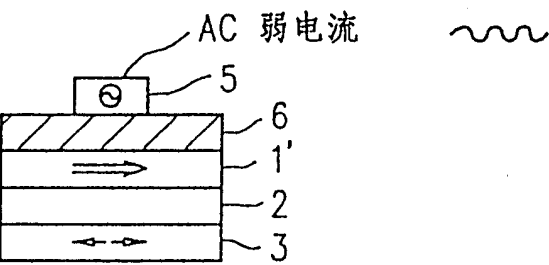


图 8C 输入·输出电压

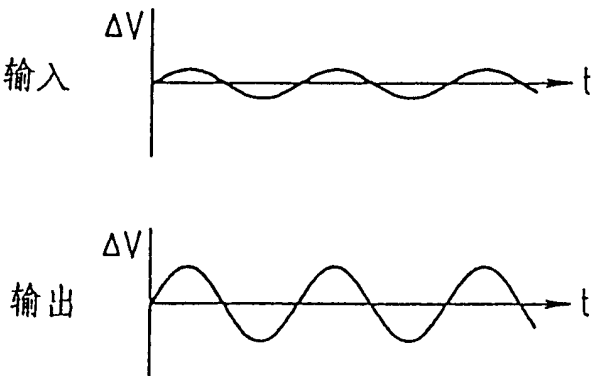


图 9A $S = 1$

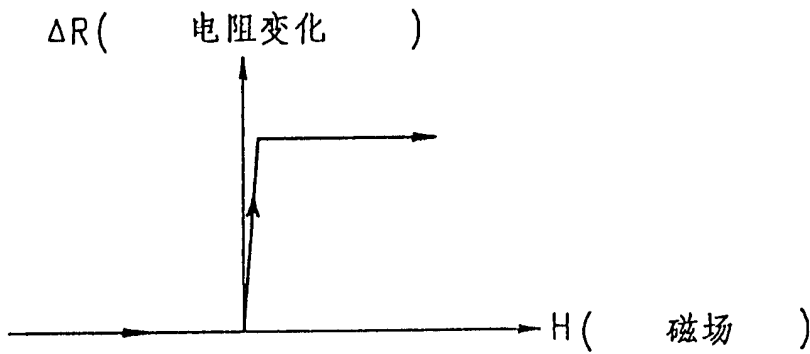


图 9B $S = 0.7$

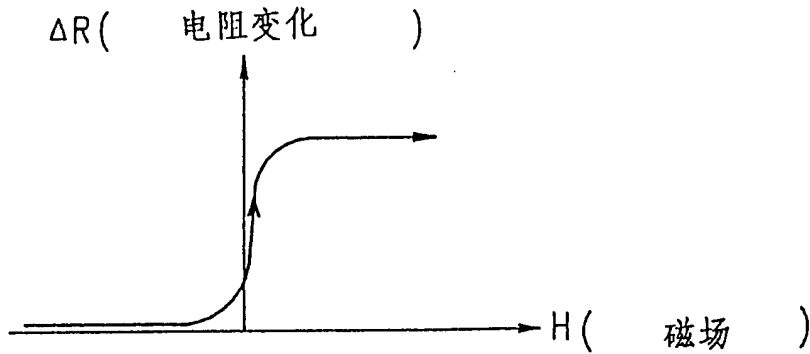


图 9C $S = 0.5$

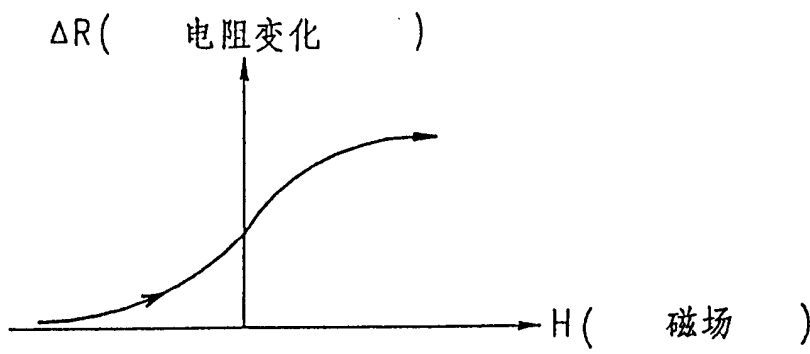
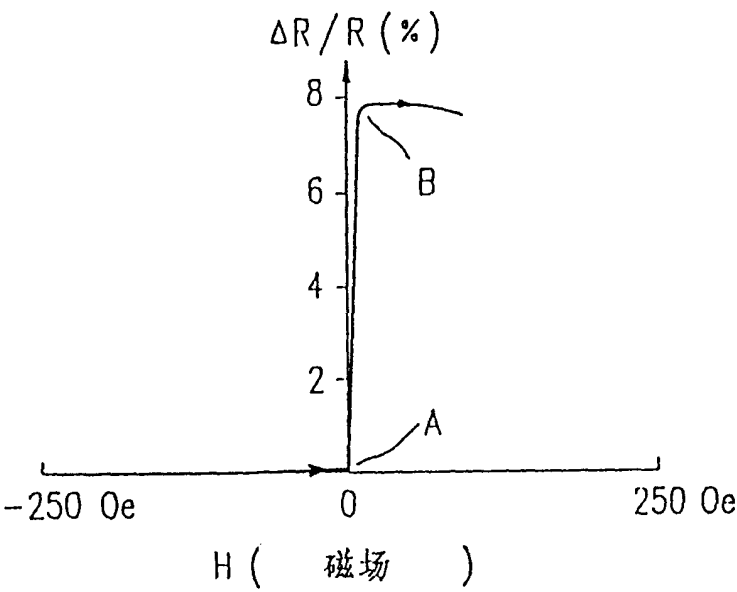
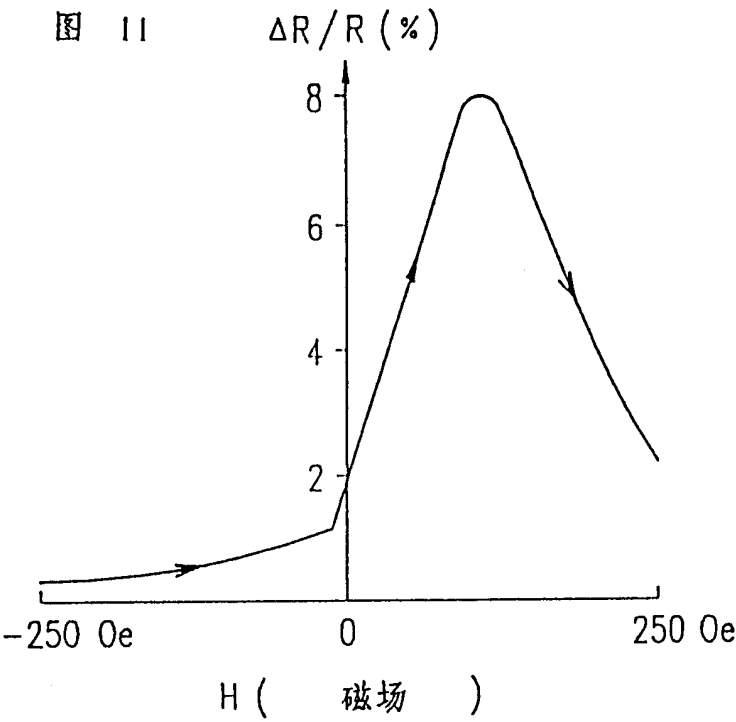
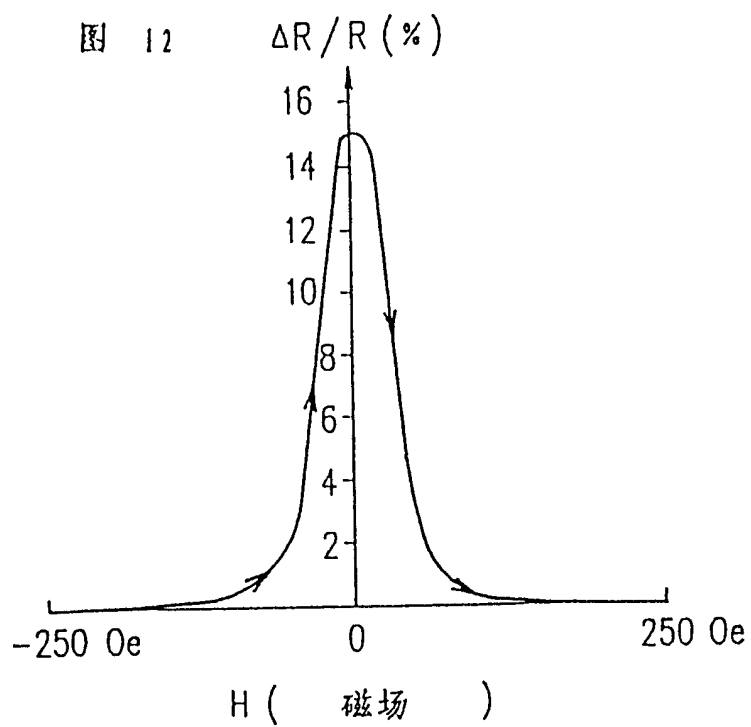


图 10







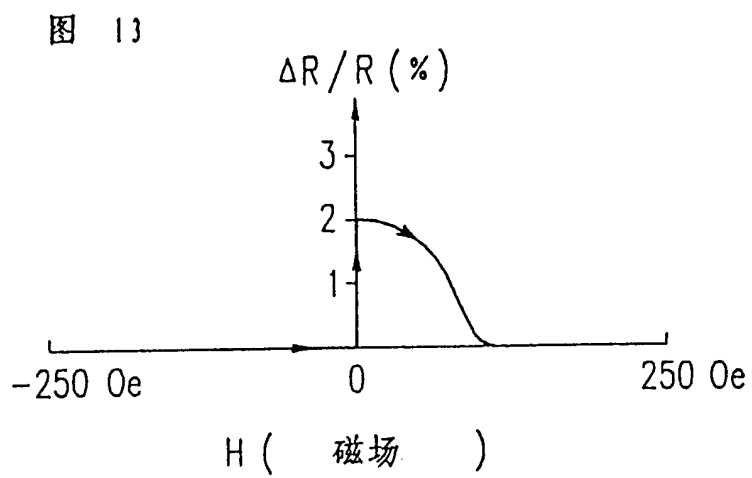


图 14

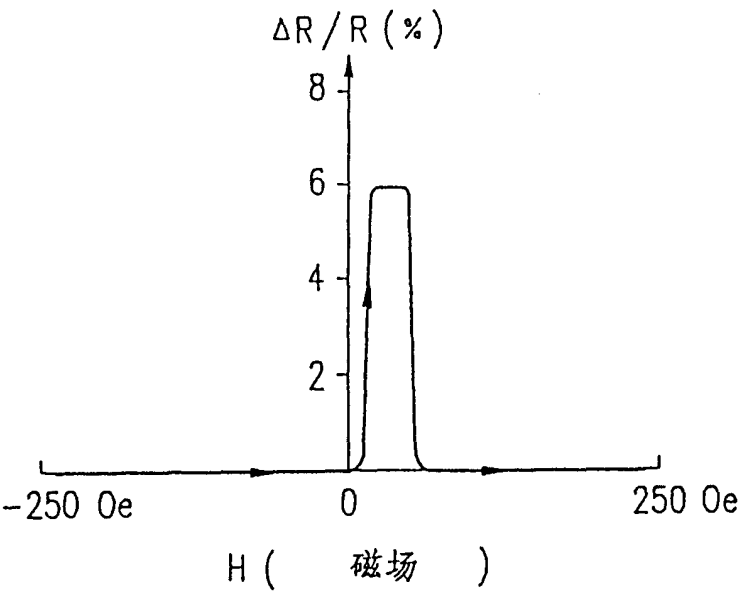


图 15A

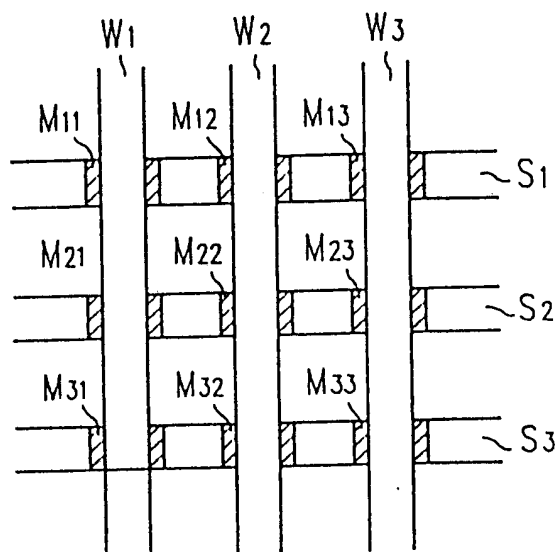


图 15B

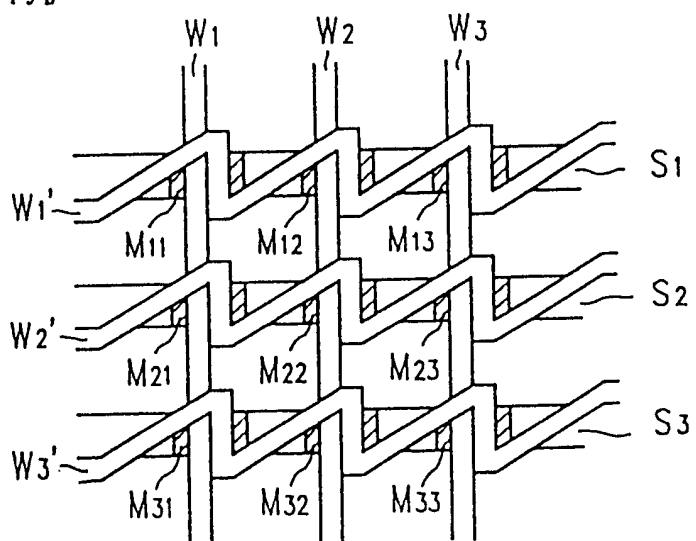


图 16A

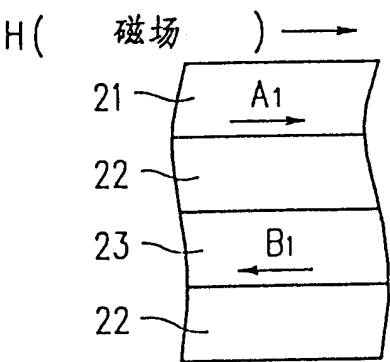


图 16B

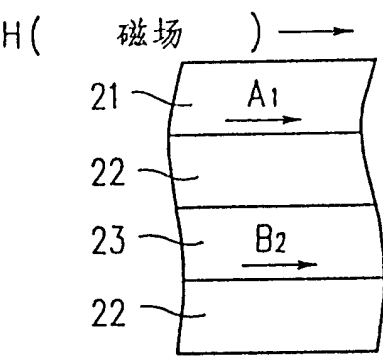


图 17

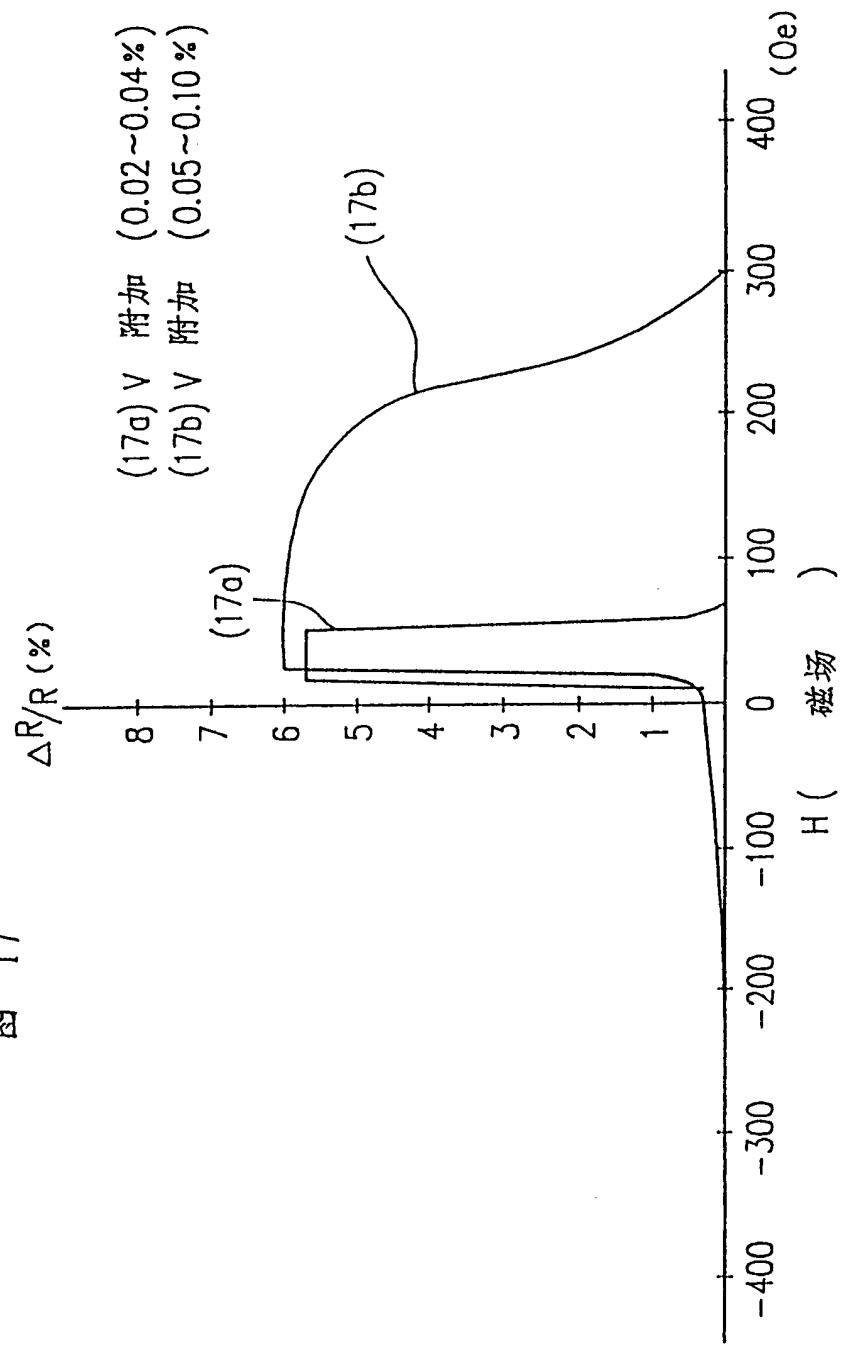


图 18

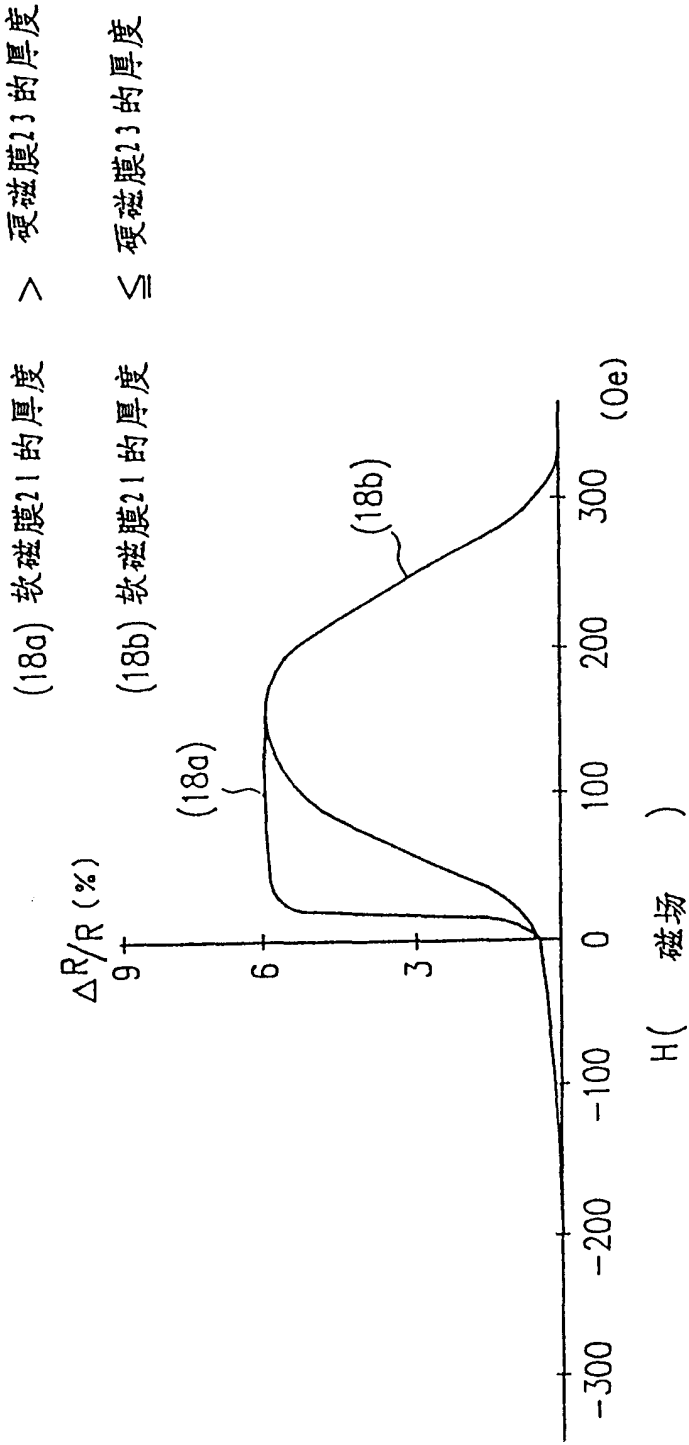


图 19

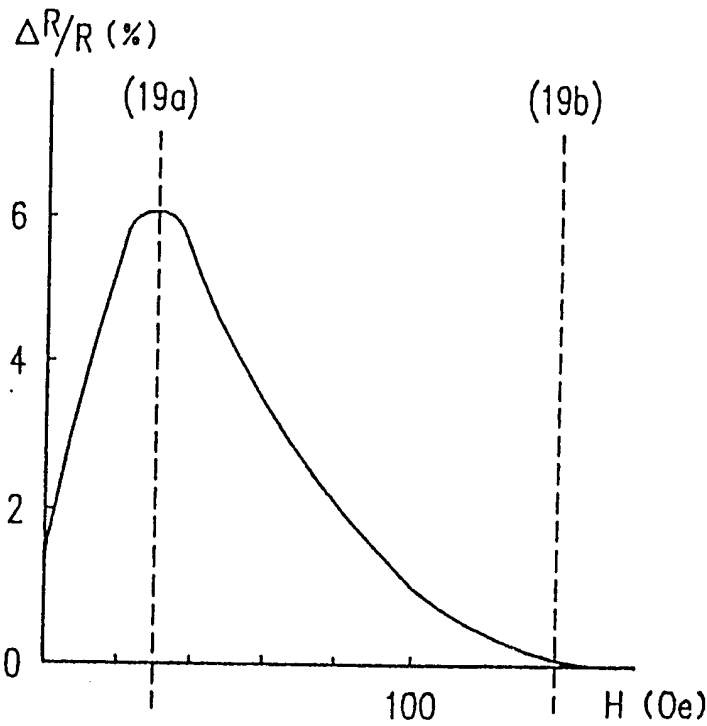


图 20A

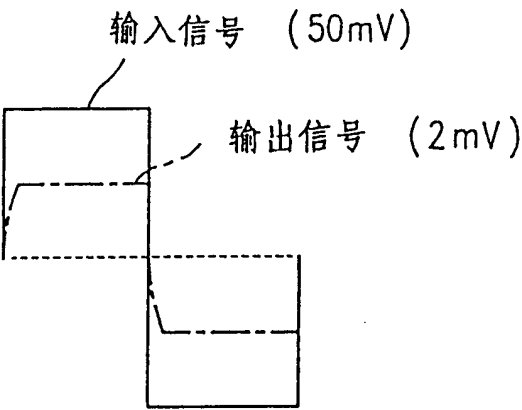


图 20B

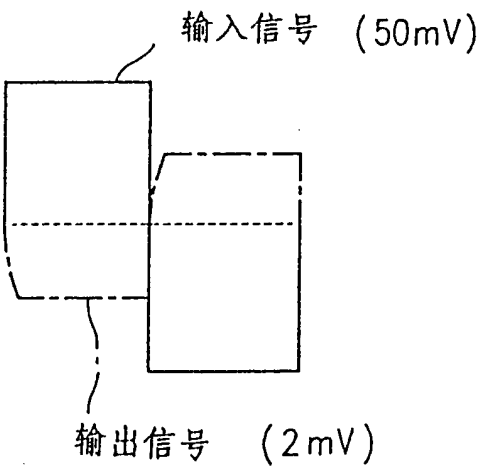


图 21

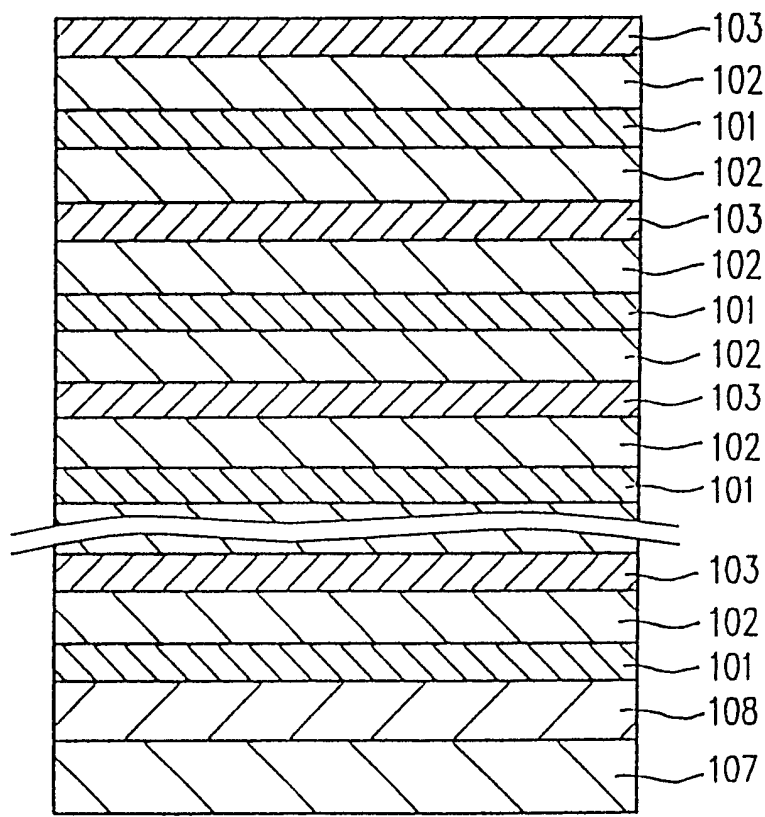


图 22

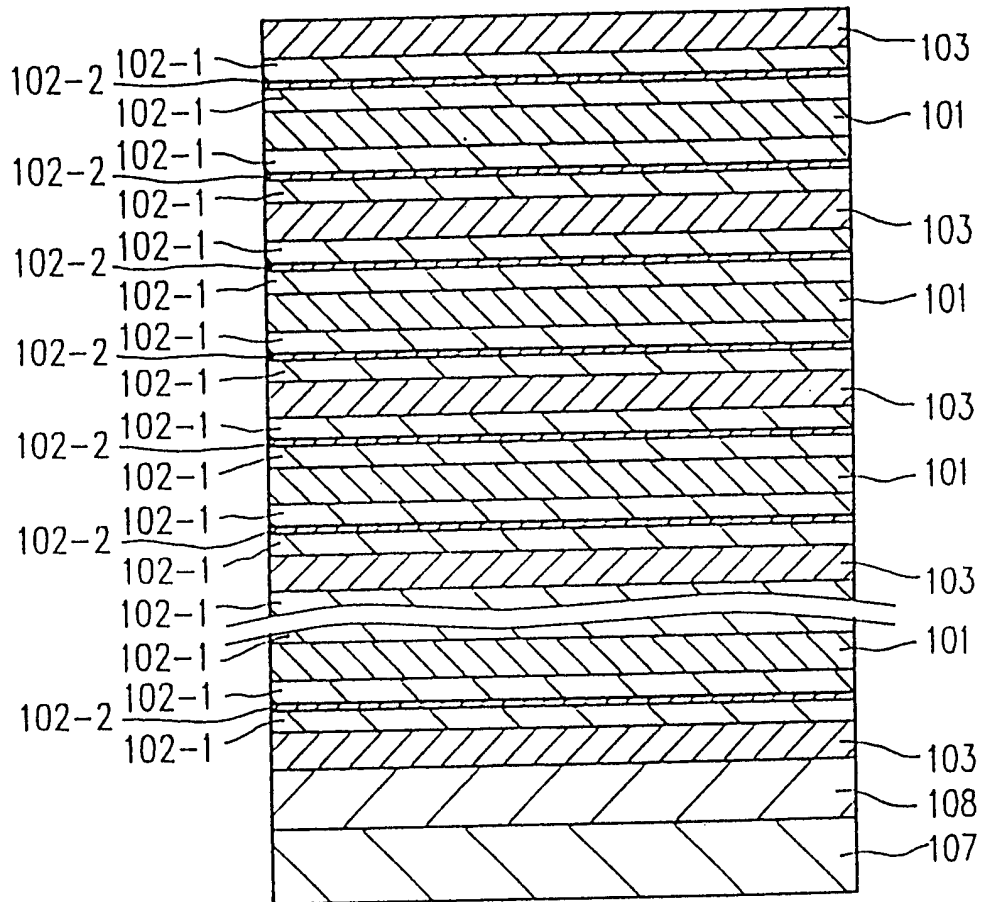


图 23

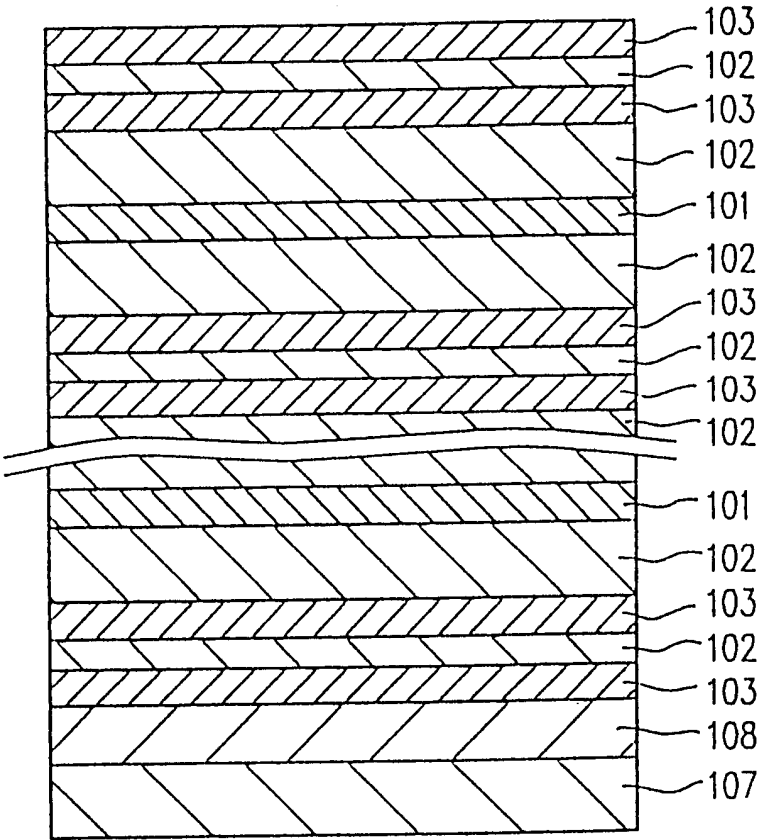


图 24

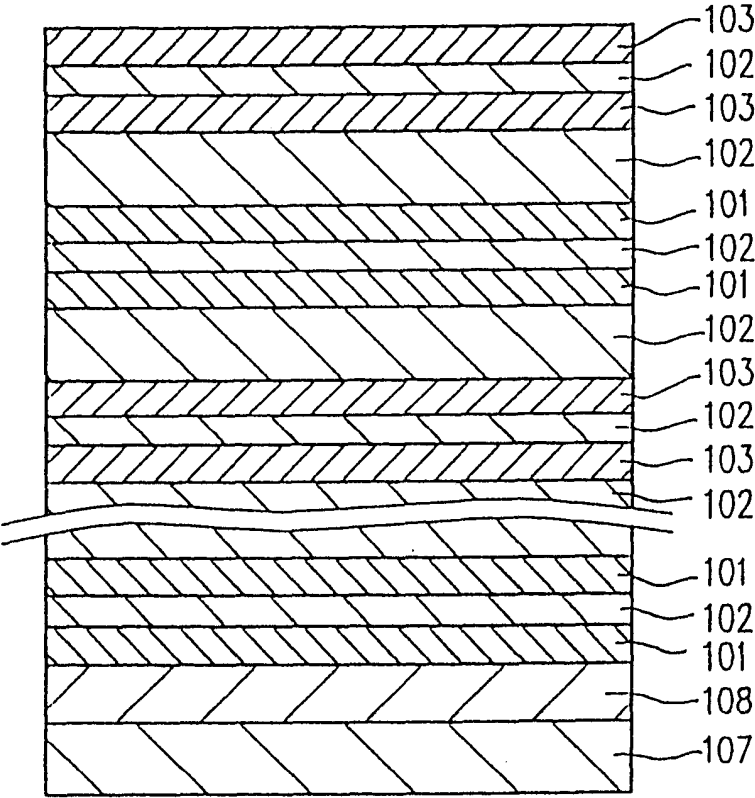


图 25

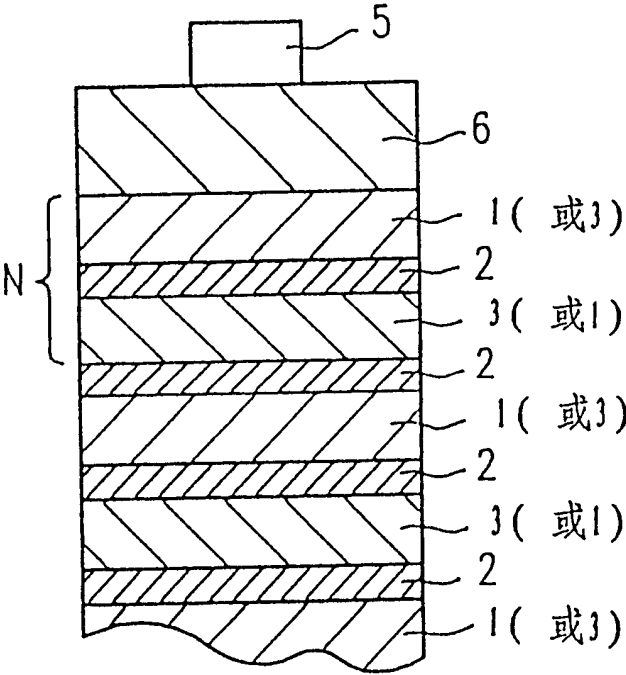


图 26

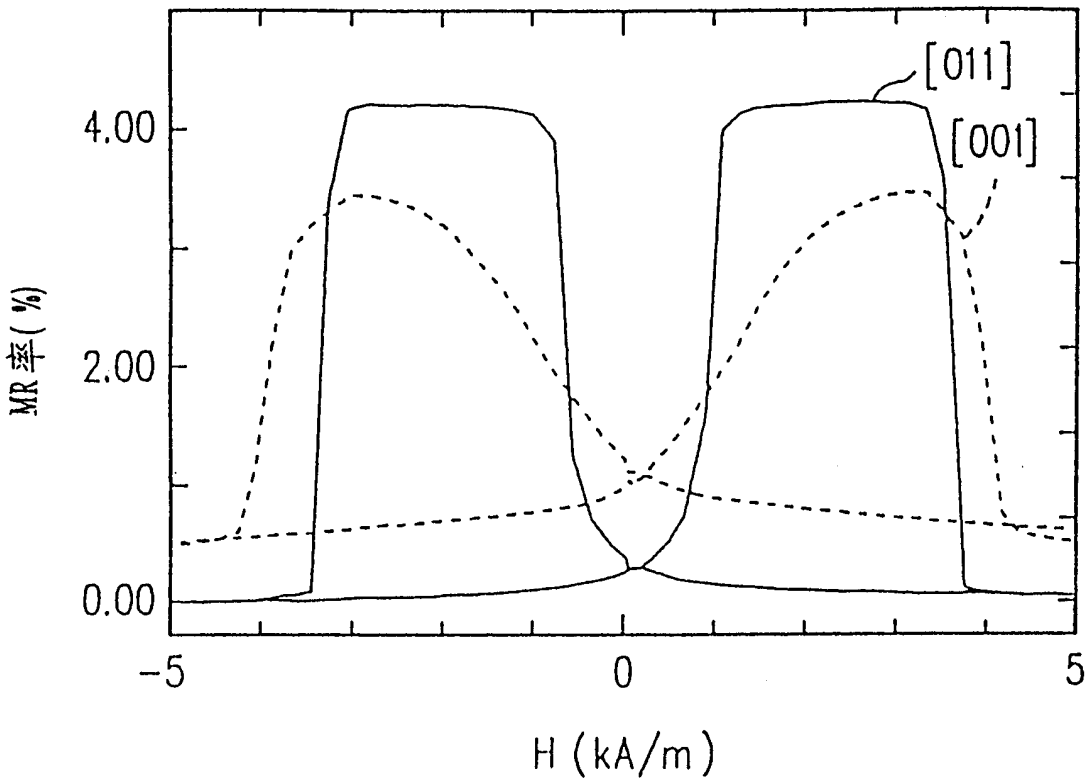


图 27A

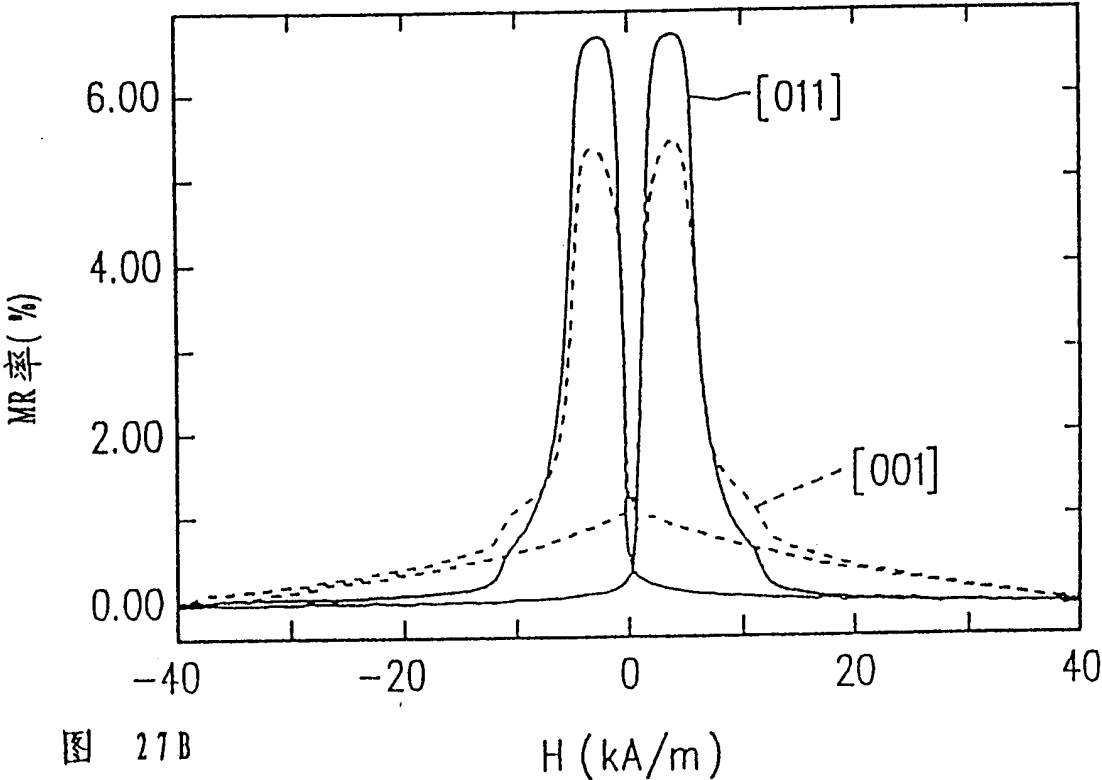


图 27B

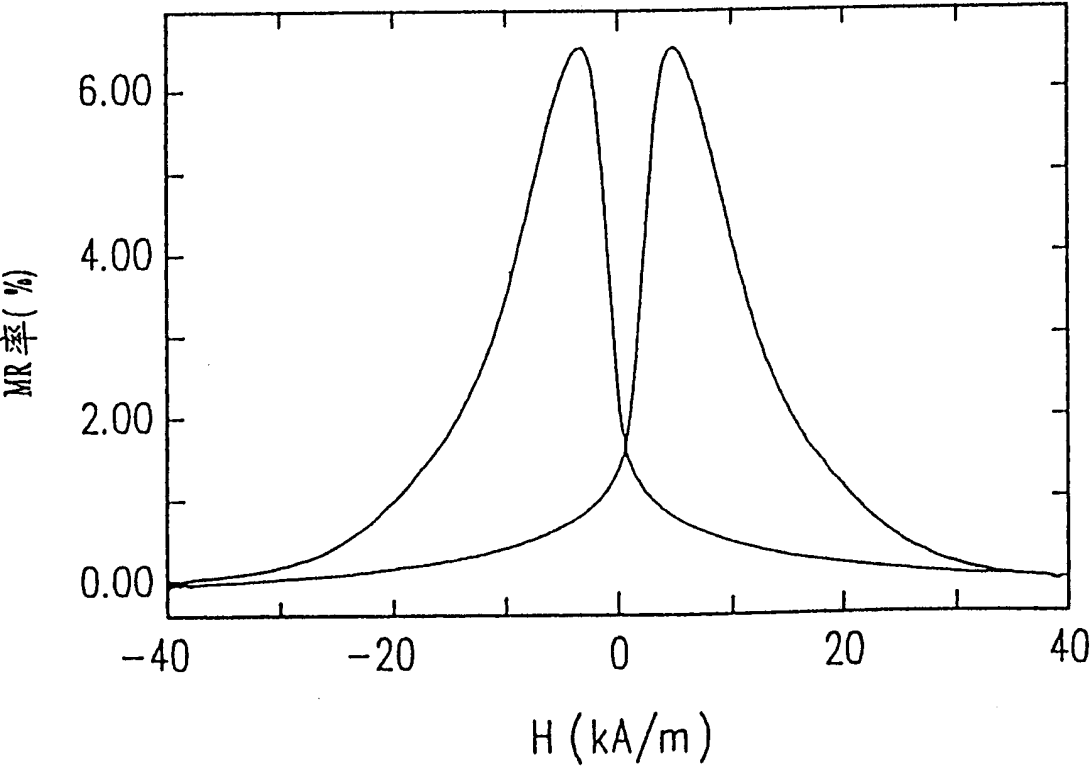


图 28A

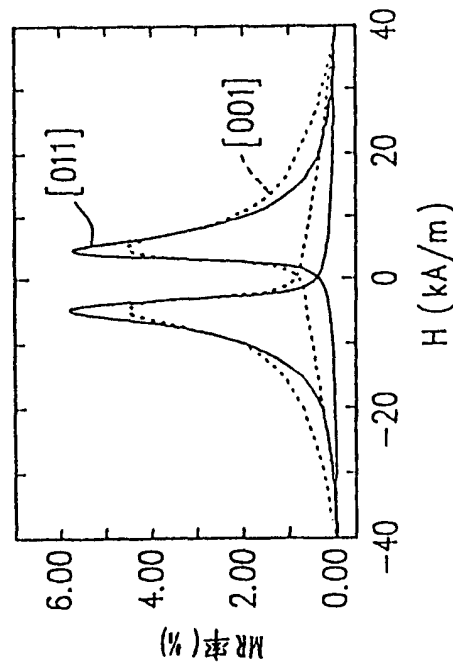


图 28C

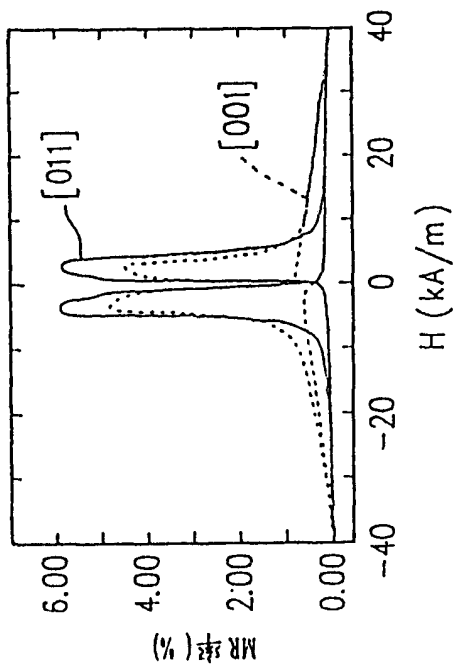


图 28B

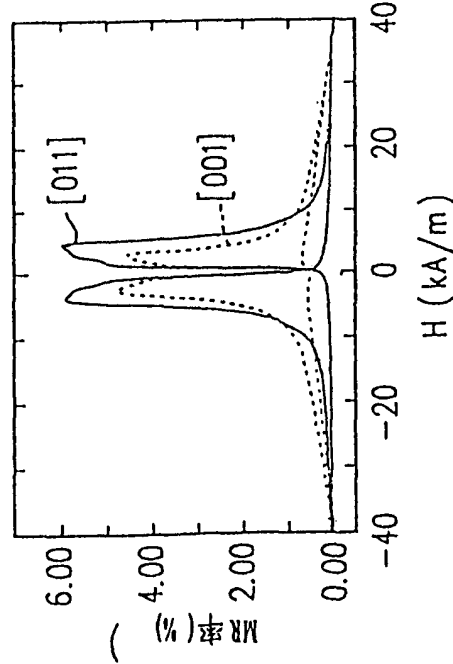


图 28D

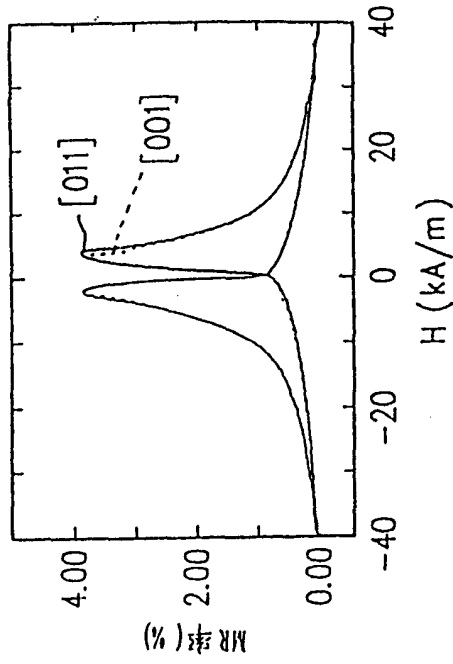


图 29

