

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G11C 11/16 (2006.01)

H01F 10/32 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03807585.7

[45] 授权公告日 2009 年 12 月 30 日

[11] 授权公告号 CN 100576344C

[22] 申请日 2003.3.14 [21] 申请号 03807585.7

[30] 优先权

[32] 2002.4.3 [33] US [31] 10/114,249

[86] 国际申请 PCT/US2003/007843 2003.3.14

[87] 国际公布 WO2003/085674 英 2003.10.16

[85] 进入国家阶段日期 2004.9.30

[73] 专利权人 微米技术有限公司

地址 美国爱达荷州

[72] 发明人 J·G·迪克

[56] 参考文献

CN1340867A 2002.3.20

审查员 李原野

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 吴立明 梁永

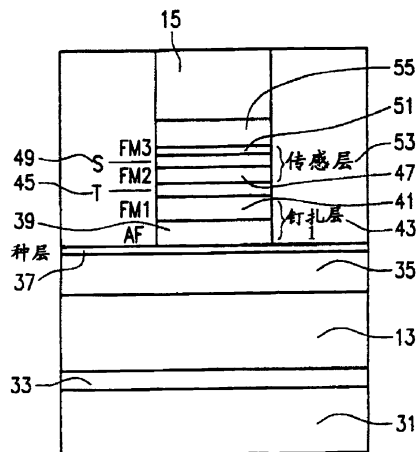
权利要求书 6 页 说明书 14 页 附图 11 页

[54] 发明名称

用于高密度 MRAM 应用的合成铁氧磁材料传感层

[57] 摘要

提供一改善的磁性存储元件，其中一磁性传感层由被一间隔层分离的两个铁磁体材料层组成。这两个铁磁体层作为一具有穿过该间隔层的杂散场耦合和反铁磁性交换耦合的合成铁氧磁材料形成。



1. 一种用于磁性存储元件的传感层，所述传感层包括：

第一可磁化层，具有以第一方向取向的磁矩；

第二可磁化层，具有以与所述第一方向相反的第二方向取向的磁矩；

在所述第一和第二可磁化层之间形成的间隔层；

所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供跨越所述间隔层在所述第一和第二层之间的杂散场耦合，以便所述第一和第二层具有彼此反平行取向的磁矩；以及

所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供跨越所述间隔层在所述第一和第二层之间的反铁磁性交换耦合，以便所述第一和第二层的磁矩在所施加的磁场存在的情况下同时充分地自由旋转，以至于可磁化层的第一和第二磁矩可以取向为所述的第一和第二方向中的另一个。

2. 如权利要求 1 的传感层，进一步包括：

相对于该第一可磁化层的更薄的 Co 层，置于该间隔层和该第一可磁化层之间；和

相对于该第二可磁化层的更薄的 Co 层，置于该间隔层和该第二可磁化层之间。

3. 如权利要求 1 的传感层，进一步包括：

相对于该第一可磁化层的更薄的 CoFe 层，置于该间隔层和该第一可磁化层之间；和

相对于该第二可磁化层的更薄的 CoFe 层，置于该间隔层和该第二可磁化层之间。

4. 如权利要求 1 的传感层，其中该第一和第二可磁化层至少包括一 NiFe 层。

5. 如权利要求 1 的传感层，其中该第一和第二可磁化层至少包括一 CoFe 层。

6. 如权利要求 1 的传感层，其中该第一和第二可磁化层至少包括一 Co 层。

7. 如权利要求 1 的传感层，其中该第一和第二可磁化层至少包括一 Fe 层。

8. 如权利要求1的传感层,其中该第一和第二可磁化层至少包括一Ni层。
9. 如权利要求1的传感层,其中该第一和第二可磁化层至少包括一NiFeCo层。
10. 如权利要求1的传感层,其中间隔层厚度使得在第一和第二可磁化层之间的反铁磁性交换耦合具有一个磁场值,这个磁场值小于第一和第二可磁化层中具有最大矫顽场值的一个的矫顽场值。
11. 如权利要求1的传感层,其中该第一可磁化层具有磁饱和乘以第一层厚度,其不等于第二可磁化层的磁饱和乘以第二层厚度。
12. 如权利要求1的传感层,其中该间隔层是导电材料。
13. 如权利要求1的传感层,其中间隔层包括Ru层。
14. 如权利要求1的传感层,其中间隔层包括Cu层。
15. 如权利要求1的传感层,其中所述的间隔层是一种导体,其不是铁磁性的或反铁磁性的。
16. 如权利要求1的传感层,其中该第一可磁化层由第一材料形成,第二可磁化层由不同于第一材料的第二材料形成,并且第一和第二可磁化层具有相同的厚度。
17. 如权利要求1的传感层,其中该第一可磁化层由第一材料形成,第二可磁化层由不同于第一材料的第二材料形成,且该第一和第二可磁化层具有不同的厚度。
18. 如权利要求1的传感层,其中所述的层以椭圆形图案形成。
19. 一种用于磁存性储元件的传感层,所述的传感层包括:  
第一可磁化层,具有第一材料成分、厚度 $t_1$ 和在第一方向上取向的磁矩;  
在所述的第一可磁化层之上的第二可磁化层,所述的第二可磁化层具有所述的第一材料成分和大于 $t_1$ 的厚度、以及以和所述第一方向相反的第二方向取向的磁矩;  
在所述第一和第二可磁化层之间形成的导电间隔层;  
所述的第一和第二可磁化层和导电间隔层被形成以提供所述的第一和第二层之间的杂散场耦合,以至于所述的第一和第二层具有彼此反平行取向的磁矩;  
以及  
所述的第一和第二可磁化层和导电间隔层每一个都由这样的材料和厚度形

成，其足以提供跨越所述间隔层在该第一和第二层之间具有大于 0 且  $\leq 200$  Oe 的值的反铁磁性交换耦合，所述第一和第二层的磁性取向在所施加的磁场存在的条件下同时充分地旋转，使得第一和第二可磁化层的磁矩可以取向为所述的第一和第二方向中的另一个。

20. 如权利要求 19 的传感层，其中该间隔层厚度使得在第一和第二可磁化层之间的反铁磁性交换耦合小于该第一或第二可磁化层中具有最大矫顽场值的一个的矫顽 (H) 场值。

21. 一种磁性存储结构，包括：

传感层，包括：

第一可磁化层，具有以第一方向取向的磁矩；

第二可磁化层，具有以与所述第一层相反的第二方向取向的磁矩；

在所述第一和第二可磁化层之间形成的间隔层；

所述的层由这样的材料和厚度形成，其足以提供在所述第一和第二可磁化层之间的杂散场耦合，以便所述第一和第二可磁化层具有彼此反平行取向的磁矩；

所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供在所述第一和第二层之间的反铁磁性交换耦合，以便所述第一和第二层的磁矩在所施加的磁场存在的情况下同时充分地自由旋转，以至于可磁化层的第一和第二磁矩可以取向为所述的第一和第二方向中的另一个；

钉扎层；以及

由非磁性材料形成的隧道势垒层，提供在所述传感层和所述钉扎层之间。

22. 如权利要求 21 的磁性存储结构，其中跨越所述间隔层在该第一和第二可磁化层之间的反铁磁性交换耦合在 0 和  $\leq 200$  Oe 之间。

23. 如权利要求 21 的磁性存储结构，进一步包括耦合以提供磁场给所述传感层的行线导体，以及提供磁场给所述传感层的列线导体，其中所述的钉扎层具有这样的磁场取向，当跨越所述间隔层在第一和第二层之间的反铁磁性交换耦合大于 0 且  $\leq 100$  Oe 时，该磁场取向大致在所述行线的轴的 15 度之内。

24. 如权利要求 21 的磁性存储结构，其中间隔层厚度使得跨越该间隔层在第一和第二可磁化层之间的反铁磁性交换耦合小于所述第一或第二可磁化层中

具有最大矫顽场值的一个的矫顽场值。

25. 一种磁性存储元件阵列，包括：

底层；

在底层上形成的第一组基本平行的导电线；

在底层上形成的基本上正交于第一组导线的第二组基本平行的导电线，并且其与第一组导线相交；

多个磁性存储元件，每个所述的每一元件在第一和第二导线交叉点之间形成并与它们耦合，所述的元件包括磁存储传感层，该传感层包括：

第一可磁化层，具有以第一方向取向的磁矩；

第二可磁化层，具有以与所述第一方向相反的第二方向取向的磁矩；

在所述第一和第二可磁化层之间形成的间隔层；

所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供跨越所述间隔层在所述第一和第二层之间的杂散场耦合，以便所述第一和第二层具有彼此反平行取向的磁矩；

所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供跨越所述间隔层在第一和第二层之间的反铁磁性交换耦合，以便所述第一和第二层的磁矩在所施加的磁场存在的情况下同时充分地自由旋转，以至于可磁化层的第一和第二磁矩可以取向为所述的第一和第二方向中的另一个。

26. 如权利要求 25 的磁性存储元件阵列，进一步包括位于所述传感层附近的另一导线，它被用来读取所述传感层磁矩的磁性取向。

27. 如权利要求 25 的磁性存储元件阵列，进一步包括位于所述传感层附近的另一导线，它被用来同时充分地旋转所述第一和第二可磁化层的磁矩。

28. 如权利要求 25 的磁性存储元件阵列，进一步包括另一导线，它穿过所述的传感层延伸，并用来决定所述传感层磁矩的磁性取向。

29. 如权利要求 25 的磁性存储元件阵列，进一步包括另一导线，它穿过所述的传感层延伸，并用来同时充分地旋转所述第一和第二可磁化层的磁矩。

30. 一种计算机系统，包括：

处理器；

与该处理器电耦合的磁性存储设备，所述磁性存储设备包括：

第一可磁化层，具有以第一方向取向的磁矩；

第二可磁化层，具有以与所述第一方向相反的第二方向取向的磁矩；

在所述第一和第二可磁化层之间形成的间隔层；

所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供在所述第一和第二层之间的杂散场耦合，以便所述第一和第二层具有彼此反平行取向的磁矩；

所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供在第一和第二层之间的反铁磁性交换耦合，以便所述第一和第二层的磁矩在所施加的磁场存在的情况下同时充分地自由旋转，以至于可磁化层的第一和第二磁矩可以取向为所述的第一和第二方向中的另一个。

31. 如权利要求 30 的计算机系统，其中磁性存储设备的阵列通过存储控制器和总线与该处理器电耦合。

32. 如权利要求 30 的计算机系统，其中该间隔层的厚度使得跨越该间隔层在第一和第二可磁化层之间的反铁磁性交换耦合小于所述第一或第二可磁化层中具有最大矫顽场值的一个的矫顽场值。

33. 一种磁性存储结构，包括：

传感层，包括：

第一可磁化层，具有以第一方向取向的磁矩；

第二可磁化层，具有以与所述第一层相反的第二方向取向的磁矩；

在所述第一和第二可磁化层之间形成的间隔层；

所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供在所述第一和第二可磁化层之间的杂散场耦合，以便所述第一和第二可磁化层具有彼此反平行取向的磁矩；

所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供在所述第一和第二层之间的反铁磁性交换耦合，以便所述第一和第二层的磁矩在所施加的磁场存在的情况下同时充分地自由旋转，以至于可磁化层的第一和第二磁矩可以取向为所述的第一和第二方向中的另一个；

钉扎层；以及

在所述传感层和所述钉扎层之间提供的导电层。

34. 权利要求 33 的磁性存储结构, 进一步包括:  
相对于该第一可磁化层的更薄的 Co 层, 置于该间隔层和该第一可磁化层之间; 和  
相对于该第二可磁化层的更薄的 Co 层, 置于该间隔层和该第二可磁化层之间。

35. 权利要求 33 的磁性存储结构, 进一步包括:  
相对于该第一可磁化层的更薄的 CoFe 层, 置于该间隔层和该第一可磁化层之间; 和  
相对于该第二可磁化层的更薄的 CoFe 层, 置于该间隔层和该第二可磁化层之间。

36. 如权利要求 33 的磁性存储结构, 其中跨越所述间隔层在第一和第二可磁化层之间的反铁磁性交换耦合在 0 和  $\leq 200$  Oe 之间。

37. 如权利要求 33 的磁性存储结构, 进一步包括耦合以提供磁场给所述传感层的行线导体, 以及提供磁场给所述传感层的列线导体, 其中所述的钉扎层具有这样的磁场取向, 当跨越所述间隔层在第一和第二层之间的反铁磁性交换耦合大于 0 且  $\leq 100$  Oe 时, 该磁场取向大致在所述行线的轴的 15 度之内。

38. 如权利要求 33 的磁性存储结构, 其中间隔层厚度使得跨越该间隔层在第一和第二可磁化层之间的反铁磁性交换耦合小于所述第一或第二可磁化层中具有最大矫顽场值的一个的矫顽场值。

## 用于高密度 MRAM 应用的合成铁氧磁材料传感层

### 技术领域

本发明一般涉及用作计算机存储的非易失性存储装置领域，并且尤其涉及使用磁性存储元件作为单个数据位的非易失性存储阵列。

### 背景技术

集成电路设计者一直在寻找理想的半导体存储器：一种可以被随机存取、可非常快速读或写的装置是非易失性的，但是可无限改变的、并且消耗很小的功率。磁性随机存储器（MRAM）技术越来越被认为是提供了多个这些优点。

MRAM 装置典型地包括磁性存储元件 11 的阵列，该磁性存储元件 11 位于行导体 13 和列导体 17 的交点，如图 1 所示。简单的磁性存储元件具有如图 2 所示的更为详细结构。磁性存储元件包括被非磁性层 21 分开的铁磁层 17 和 19。一个铁磁层 17 的磁化，一般称为钉扎层，被固定在一个方向。而另一个铁磁层 19 的磁化，通常称为传感层，不是被钉扎的，因此它的磁化在相对于钉扎层的磁化“平行”和“反平行”状态之间自由地切换。传感层也可以被称为“自由”层或存储层，因此可以理解的是，当使用术语“传感层”时，该术语的意思并不仅限于该术语本身，而是该层所实现的功能。

存储在 MRAM 存储元件中的逻辑值或位是与阻值相关的，并且存储元件的电阻是由传感层磁化相对于钉扎层磁化取向的相对取向来决定的。传感层的磁化相对于钉扎层的平行取向导致低电阻。相反地，响应于反平行取向，该磁性存储元件会显示出高电阻。参照图 2，存储元件中电阻被读取的方式取决于形成将传感层 19 和钉扎层 17 分开的非磁性间隔层 21 使用的材料类型。如果该非磁性间隔层 21 是由导电材料制成的，例如铜，那么存储元件的电阻值可以通过该巨磁致电阻效应来感测，它通常会涉及平行于存储元件的长轴 20 流动的电流。如果磁性间隔层是由绝缘材料组成的，例如氧化铝，那么电阻值可以通过使用隧道磁致电阻效应来感测，并且它还伴随有垂直于非磁性材料间隔层 21 的平面

从传感层 19 到钉扎层 17 流经的电流。

逻辑值“1”或“0”通常通过施加外部磁场（通过电流）而被写入到磁性存储元件中，该外部磁场旋转传感层的磁化方向。典型地，MRAM 存储元件被设计成使得传感层和钉扎层的磁化沿着已知为易磁化轴 27 的轴对齐。施加外部磁场，以便将传感层沿其易磁化轴的取向翻转为相对于钉扎层的磁化取向平行或反平行的取向，其取决于将要存储的逻辑状态。

典型地，MRAM 装置包括行线和列线（电导体）的正交阵列，其用来在写入期间向磁性存储元件施加外部磁场，并且也可以被用来在读取期间感测存储元件的电阻。附加的写入和读取导体也可以提供在阵列中。在图 1 中示出的两个导体级实现方案中，该磁性存储元件位于行线 13 和列线 15 的交点上。

参照图 1，由通过流经列线 15 的电流生成的磁场这里被称为易磁化轴写入场。易磁化轴写入场与 MRAM 位 11 的易磁化轴 23 是共线的（图 2a）。当电流流经行导线 13 时所生成的磁场被称为难磁化轴写入场。由行导线 13 所生成的难磁化轴写入场与 MRAM 位 11 的难磁化轴 25 平行延伸。

当存储元件同时暴露于难磁化轴和易磁化轴写入场时，存储元件被选择用于写入。每一个写入场，通过自身并且当仅仅以两条导线中的一条生成时，因为单个场本身没有足够大的幅度来切换存储元件的传感层的磁化取向，因此通常被称为半选择场。然而，实际上，难磁化轴写入场经常被称为半选择场，而易磁化轴写入场经常被称为切换场。这两个场当通过使电流流经在所选择元件处相交的导体 13、15（图 1）而彼此结合地施加时，被用来对指定存储元件进行写操作。存储在所选择存储元件上用于读或写操作而访问的位，这里被称为“选中位”。

这种用于选择一位进行写入的方法是不理想的。在写操作期间，与特定列线 15 相耦合的未选择的存储元件被暴露在易磁化轴写入场。类似地，与特定行线 13 相耦合的未选择的存储元件 11 被暴露在难磁化轴写入场。因此将 MRAM 存储元件阵列中的杂散磁场限制在不会导致半选择的位被写入的值是很重要的。杂散场的一些来源包括来自邻近的写入导体的场，源自邻近存储元件的铁磁层的杂散场，以及由 MRAM 装置的外部来源产生的场。如果该杂散、难磁化轴、易磁化轴场的组合值对于一位来说太小从而不能使其被写入的话，这些杂散场也可以禁止所选择的存储元件被写入。在写入存储元件所需的写电流中本

身表明的另一不理想行为的来源起源于，难于制造一致地响应于所施加写入场的 MRAM 存储元件的阵列。这种效应的一些来源包括在元件与元件之间几何形状的变化，在元件和元件之间磁性质的变化，以及热激发的磁化波动。因此，难磁化轴和易磁化轴写入场的特定值，以及因此行和列线的写入电流，是进行了折衷的，以至于所选择的存储元件以它们总是被写入的足够余量进行选择，并且没被选择的存储元件将永远不会暴露在大到使它们被无意地写入的场中。

热效应，例如超顺磁性或热激发磁化反转，以及源自相邻位的杂散场效应，可以导致在 MRAM 装置中产生问题。这些机制中的任一种都可以导致不可预测的写或读行为。使用传统的单层传感层，随着 MRAM 装置的位密度增长，这些效应将是极难被克服的。

在看似不波动的宏观可观察数量中的热波动，例如铁磁材料的磁化，是一个抽象的概念。铁磁材料磁化的取向和幅度是实际统计的量。在任何材料中，热能量中的波动都是在微观尺度内持续发生的，其中热波动的幅度由材料的温度  $T$  决定。这些波动当平均在当前样品的整个体积上时，决定了系统的宏观可观察的特性。在微观级上，使铁磁材料中的任何原子具有以特定方向取向的磁矩的可能性，与玻尔兹曼因子  $e^{-U/K_bT}$  成比例。这里，在这种情况下， $U$  是与特定磁矩取向有关的能量，而  $K_b$  是玻尔兹曼常量。随着特定原子力矩取向的能量降低，或者随着  $T$  和因此的热能增加，原子具有在固定的时间段以特定方向取向的力矩的可能性减小了。如果  $U/K_bT$  的比率变得足够小的话，在热波动的影响下，原子的磁矩会自发地改变方向。MRAM 存储元件的传感层可以被认为彼此紧密耦合在一起、并以相同方向对齐的原子磁矩或自旋的集合。传感层磁化的取向所需的能量可以因此被看成是一些能量密度与传感层体积的乘积， $U_{sw}=U_vV$ 。随着温度的增长或随着传感层体积的缩小，传感层被发现在特定取向的可能性也会降低。另外，如果  $U_{sw}/K_bT$  很小的话，传感层的磁化取向对于热波动而言是不稳定的。由  $U_{sw}/K_bT$  的低值表征的存储位趋向于具有很差的数据保持时间。等待足够长的时间和波动可以自发地翻转磁化。与所需的保持数据时间相比可以在短的时间尺度上自发翻转其磁化的磁性存储元件，据说达到了超顺磁性的极限。随着接近超顺磁性极限，磁性存储元件也变得更加易于受到半选择写入事件或偶然的不能写入所选择存储单元的影响，这是由于热波动可以禁止一位在特定时间间隔内的写入，或者它可以在特定时间间隔内写入半选

择位。应该注意的是，增长的MRAM存储密度需要减少在MRAM位的体积，并且因此把该技术推向更为接近于超顺磁性极限，或更接近于其中热波动成为问题的领域。

传统的MRAM存储元件也会受到由杂散磁场导致的位之间的相互作用，其源自于磁性存储元件11传感层。MRAM存储元件11的传感层产生杂散场，因为它不是封闭的磁通量结构。因此它响应于传感层磁化的取向在传感层的边缘形成磁极。杂散场的取向因此也随存储元件中传感层的磁化取向而改变。由这些磁极产生的杂散场随着离传感层距离的增加而值减小。然而，在MRAM阵列中的任何存储元件处，来自邻近位的杂散场可以与切换该位所需要的场相比很明显。在以后的MRAM设计中，存储元件将需要更紧密地组装在一起，这将使得该问题复杂化。因此，需要减少由MRAM存储元件中的磁性层产生的杂散场，以及减少存储元件对热波动的敏感度。

#### 发明内容

本发明提供一种方法和装置，其通过使用改进的传感层，使得由于热波动不稳定性及杂散场交换相互作用所产生的与增长的MRAM存储器密度相关的问题最小化。所提出的改进的MRAM位11的叠层由合成的铁氧磁材料作为传感层构造。传感层被设计为，以至于合成铁氧磁材料的铁磁层都是通过由例如Ru或Cu的金属化合物构成的间隔层、借助RKKY交互作用耦合的反铁氧磁性交换和耦合的杂散场。

本发明涉及一种用于磁性存储元件的传感层，所述传感层包括：第一可磁化层，具有以第一方向取向的磁矩；第二可磁化层，具有以与所述第一方向相反的第二方向取向的磁矩；在所述第一和第二可磁化层之间形成的间隔层；所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供跨越所述间隔层在所述第一和第二层之间的杂散场耦合，以便所述第一和第二层具有彼此反平行取向的磁矩；以及所述第一可磁化层、第二可磁化层和间隔层中的每一个由这样的材料和厚度形成，其足以提供跨越所述间隔层在所述第一和第二层之间的反铁磁性交换耦合，以便所述第一和第二层的磁矩在所施加的磁场存在的情况下同时充分地自由旋转，以至于可磁化层的第一和第二磁矩可以取向为所述的第一和第二方向中的另一个。

在上述传感层中进一步包括：相对于该第一可磁化层的更薄的 Co 层，置于该间隔层和该第一可磁化层之间；和相对于该第二可磁化层的更薄的 Co 层，置于该间隔层和该第二可磁化层之间。

在上述传感层中进一步包括：相对于该第一可磁化层的更薄的 CoFe 层，置于该间隔层和该第一可磁化层之间；和相对于该第二可磁化层的更薄的 CoFe 层，置于该间隔层和该第二可磁化层之间。

此外，在上述传感层中间隔层厚度使得在第一和第二可磁化层之间的反铁磁性交换耦合具有一个磁场值，这个磁场值小于第一和第二可磁化层中具有最大矫顽场值的一个的矫顽场值。

#### 附图说明

本发明的这些和其他特点以及优点将从下面的详细描述中及结合附图将得到更好的理解。

图1示出了在MRAM磁性存储装置中的一部分磁性存储元件阵列的顶视剖面图；

图2a示出了简化的图1磁性存储位的透视图；

图2b示出了根据本发明示例性的实施例构造的磁性存储位的顶视图；

图3示出了根据本发明示例性的实施例构造的磁性存储元件的截面图；

图4示出了根据本发明示例性的实施例构造的磁性存储元件传感层的表示磁场和磁矩属性的截面图；

图5示出了对于本发明示例性的实施例，杂散场与合成铁氧磁材料顶层厚度之间的关系；

图5b示出了根据本发明示例性的实施例构造的磁性存储元件传感层的截面图；

图5c示出了具有一个位与相邻位相互作用产生的杂散场的两个相邻位的视图；

图6示出了根据本发明示例性实施例而构造的磁性存储元件的磁滞回线与没有合成铁氧磁材料的传感层的磁滞回线的比较；

图7示出了根据本发明示例性实施例构造的磁性存储元件的磁滞回线与没有反铁磁性 RKKY 交换耦合的磁性存储元件传感层的磁滞回线的比较；

图8示出了当反铁磁性RKKY交换耦合变化时,需要对根据本发明示例性实施例构造的合成传感层进行写操作的磁场强度的比较;

图9示出了用于制造根据本发明示例性实施例的磁性存储元件的处理顺序;  
和

图10示出了结合了具有根据本发明示例性实施例构造的存储元件的MRAM存储装置的处理系统。

### 具体实施方式

参照附图,图1说明了磁性隧道结存储元件11的阵列9简化部分的顶视图。多个列导线15,也称为列线,每一个分别在阵列9的每列中的多个存储元件11上形成。多个行导线13,也称为行线,每一个分别在阵列9的每行中的多个存储元件11之下形成。行线13提供难磁化轴磁场,也被认为是存储元件11的半选择场,而列线15提供存储元件11的易磁化轴切换场。因此,写入一特定存储元件11需要在线13和15上对于所选择的存储元件11的信号。行13和列15线除了写入存储元件11之外,也可以被用来读取磁性存储元件11。

众所周知,阵列9也可以用每个存储元件11上方的行线13和下方的列线15来构造。尽管图1描述了MRAM阵列的一种排列,其它排列方式仍有可能。而且,存储元件11的多个阵列9可以被提供在彼此叠置的MRAM存储设备中。另外,读取磁性存储元件11也可以使用多种导体以及包括位于传感层上方、下方或同一层中的额外或不同导体的导体排列来实现。

图2a示出了磁性隧道结存储位11的透视图,它因为图示目的而有所简化。由多个层叠的薄磁层形成的第一铁磁层17,和由另外的多个层叠的薄磁层形成的第二铁磁层19,形成具有在其之间的绝缘非磁性间隔层21,例如氧化铝。存储元件18的宽度(W)被定义为沿存储元件的传感层的难磁化轴25的距离。存储元件20的长度(L)被定义为沿存储元件传感层的易磁化轴23的距离。存储元件11的长度(L)尺寸20一般要比存储元件的宽度(W)尺寸18更大。传感层的长宽比可以定义为L/W。传感层19被制造成在缺少所施加的磁场(H)时,具有对于传感层19的两个平衡磁化矩取向27的优选轴。沿着易磁化轴23存在有传感层19的两个可能的磁化方向,其定义了传感层19的两个磁矩态27。相反的是,钉扎层17可以制作成仅具有一个平衡或优选的磁化磁矩方向,并且

这个方向通常与传感层 19 的易磁化轴 23 平行。传感层 17 的磁矩 27 优选沿着磁性存储元件 11 的 L 尺寸 20，或者易磁化轴 23 排列。

虽然图 1 和图 2a 示出了形状是矩形的存储元件 11，但是应该理解存储元件 11 可以形成为任何需要的形状，包括椭圆形形状，例如图 2b 所示。除了矩形之外的位形状可以用来提高存储元件阵列的磁性特征。本发明适用于各种形状的存储元件，并且因此不限于如图 2a 所示的矩形位形状。

图 3 示出了根据本发明构造的示例性改进的磁性隧道结存储元件堆 11。存储元件 11 由字线导体 13 和列线导体 15 之间一层挨一层形成的一系列材料层形成。自下而上的图 3 的磁性隧道结堆包括底层 31，绝缘层 33，非铁磁金属行导线 13，非磁性金属层 35，用于生长反铁磁性(AF)材料层 39 的种层 37，第一铁磁层 41，反铁磁层 39，且第一铁磁层 41 包括钉扎层 43，非磁性隧道势垒层 45，第二铁磁层 47，导电间隔层 49，第三铁磁层 51，非铁磁金属层 55，和导电列线 15。合成铁氧磁材料提供作为包括第二铁磁层 47、间隔层 49 和第三铁磁层 51 的传感层 53。构造第二铁磁层 47，间隔层 49 和第三铁磁层 51，以便第二铁磁层 47 和第三铁磁层 51 都是借助通过将在下面做进一步解释的导电间隔层 49 和杂散场耦合的 RKKY 相互作用来耦合的反铁磁性交换。RKKY 相互作用，也被称为 Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida 原理，是在金属中自旋的有效相互作用的模型。

术语铁磁性、反铁磁性、铁氧磁性和顺磁性需要更详细的进行描述。铁磁性材料可以被认为是一种由原子构成的材料，具有磁矩或者更准确地说是“自旋”，其趋向于平衡地相互平行排列。因为原子的自旋相互平行排列，因此材料具有一种已知的自发磁化，也就是说，在不存在施加的场时其具有净磁矩。这仅限于在小长度范围内是正确的。当铁磁性物质足够大时，它们分解为磁畴，其减少了与来源于该材料的杂散场相关的能量，并且因此对在能量方面是有利的。应该注意为了材料中相邻原子的自旋彼此平行排列，在原子之间必须有一些相互作用。这种相互作用是一种量子机制效应，称为交换相互作用。这种交换相互作用可以另外地以交换场来描述。对于本文献所公开之目的，交换场的正值表示相邻自旋之间的铁磁耦合。一些常见的铁磁材料包括 Ni, Fe 和 Co 元素，以及各种合金，最常见的是 NiFe。

反铁磁性是一种固体磁性，例如氧化锰 (MnO)，其中作为微小磁体的相

邻离子（例如锰离子， $Mn^{2+}$ ）在相对低的温度下贯穿该材料自发地将其自身排列为相反、或者反平行排列，以至于材料表现出几乎没有总的外部磁性。在反铁磁材料中，它们包括某些金属和合金以及一些离子固体，在一个方向上取向的磁性原子或离子所产生的磁性被在相反方向上排列的磁性原子或离子组所抵消。对于本发明的目的，反铁磁性交换耦合将表示交换场的负值。反铁磁性材料是已知的，并且可以在自然界中形成或发现。经常被用来钉扎 MRAM 存储元件的钉扎层的相关反铁磁材料的例子包括，FeMn，NiMn，PtMn 和 IrMn。

简单的铁氧磁材料可以是一种由在相互交错的阵列中具有不同自旋值的磁性原子所组成的材料。在相邻原子之间的交换耦合是反铁磁性的，以至于不同的子网格沿相反的方向取向。由于与不同子网格相关的自旋是不同的，因此存在平衡的净磁化。铁氧磁材料因此可以呈现自发的磁化。最常见的铁氧磁材料是铁氧体。

顺磁体是这样一种磁性材料，其中热波动能量非常强以至于它压倒了相邻自旋之间的交换相互作用。在这些材料中，原子自旋的随机取向导致在不存在施加的场时的零净磁化。当磁场被施加到这些材料时，对于自旋的一些部分变得更可能平行所施加的磁场而排列。随着所施加磁场的增强，顺磁体的磁化也增强。常见的顺磁性材料包括 Al 和 K。还要注意铁磁材料在高温时也会成为顺磁性，其中热波动效应压倒了交换相互作用。这个温度被称为居里温度。

两个铁磁层可以通过非铁磁材料彼此交换耦合，而这种效果在 MRAM 技术中非常重要。通过在另一层例如第二铁磁层 47 上层叠一层例如第三铁磁层 51，并在 47 和 51 两层之间有一薄层导电间隔层例如层 49，两个铁磁层可以被反铁磁性地耦合，使其被强迫在相反方向中排列。如果铁磁层的净磁矩没有被抵消，两个反铁磁性耦合的铁磁层的层叠经常被称为合成铁氧磁材料，而如果叠层的净磁矩是零，则称为合成反铁磁材料。

跨越导电间隔层 49 发生的相关交换耦合是反铁磁性的，并且经常被称为 RKKY 耦合。局部化的磁矩之间的 Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida (RKKY) 相互作用是一种以热金属的传导电子作为媒介所引起的交换相互作用。一般来说，这种交换耦合随着间隔层 49 厚度的增长在幅度上下下降，并且在铁磁性耦合和反铁磁性耦合之间振荡。这种在铁磁性和反铁磁性排列之间磁性耦合的振荡，作为中间层厚度的函数，是一种由非磁性导电中间层分离的过渡金属铁磁体的普

遍现象。

合成铁氧磁材料或者反铁磁材料的间隔层，例如 49，必须有合适的厚度并且由合适的材料（例如，Ru Cu，或各种合金）构成，以便在两个铁磁层之间产生的交换耦合是反铁磁性的，并且是所需要幅度的。在本发明中使用了反铁磁性耦合的两种机制。它们是杂散场耦合和交换耦合，所述杂散场耦合是由发自层 47 和 51 边缘的场所导致，所述交换耦合是穿过间隔层 49 发生的相互作用。对于所有的意图和目的，直到磁性存储元件被构图杂散场耦合才是相关的。穿过间隔层 49 的交换耦合，在沉积了磁性膜后立即存在。杂散场耦合依赖于磁性存储元件的大小，并且穿过间隔层 49 的交换耦合不依赖于存储元件的 L 和 W 尺寸。

图 4 示出了表示 MRAM 设备的合成铁氧磁传感层部分 53 的横截面的示意图，它可以用来定义用于描述本发明所需的尺寸和参数。合成铁氧磁传感层 53 由两个铁磁层 47 和 51 所组成，被一导电金属间隔层 49 所分离，其既不是铁磁性的也不是反铁磁性的。合成铁氧磁传感层 53 的三层被构图成长度为 L 宽度为 W 的形状。假设用于公开的目的，合成铁氧磁传感层其形状是椭圆形的，但是为了实践本发明它并不限于椭圆形。层 47 是由具有磁化  $M1$ 、饱和磁化  $M_{sat1}$ 、和厚度为  $t1$  的铁磁材料构成的，以便如果层 47 与叠层的其余部分相磁性隔离的话，它会具有  $H_{c1}$  的矫顽性。在不存在施加的磁场时， $M1$  会沿着易磁化轴以两个可能的方向其中之一取向。同样地，层 51 由具有磁化  $M2$ 、饱和磁化  $M_{sat2}$ 、和厚度为  $t2$  的铁磁材料构成，以便如果层 51 与叠层磁性隔离的话，它会具有  $H_{c2}$  的矫顽性。在不存在施加的磁场时， $M2$  会沿着易磁化轴以两个可能的方向其中之一取向。由于层 47 被构图成有限空间范围的形状，它产生穿过层 51 的体积的杂散磁场 73。杂散场 73 被定义为  $H_{d12}$ 。在层 51 的体积内， $H_{d12}$  指向一个与  $M1$  的方向相反的方向。被类似地构图成有限空间范围的形状层 51，也产生穿过层 47 的体积的杂散磁场 71。杂散磁场 71 被定义为  $H_{d21}$ 。在层 47 的体积中， $H_{d21}$  指向一个与  $M2$  的取向相反的方向。假如由适当的材料组成并沉积为厚度  $t_s$ ，间隔层 49 会引起在铁磁层 47 和 51 之间的反铁磁性交换耦合。简单起见，交换耦合由层 47 和 51 中相同幅度的磁场  $H_{exc}$  表示。交换场的该定义仅仅是示例性的，并且本发明并不仅限于在层 47 和 51 中相等交换场幅度的例子。交换场  $H_{exc}$  倾向于是反铁磁性的。因此在层 47 中， $H_{exc}$  会指向与  $M2$  相

反的方向，并且层 51 中的交换场会指向与 M1 相反的方向。

为了构建合成铁氧磁性传感层并实现其好处，其包括降低的位间相互作用和改善的热稳定性，必须遵守两个条件。首先，

$$Msat1*t1 \neq Msat2*t2,$$

其确保了在传感层中具有足够的净磁矩以便其可以以合理的写入场值被写入。其次，M1 必须保持总是与 M2 相反地取向。然而，在实际的设备中，会存在共线性的偏离，共线性的偏离越大，设备的性能就越差。为了使 M1 和 M2 保持相反的取向，杂散场  $H_{d12}$  和  $H_{d21}$ ，和交换场  $H_{exc}$  必须设定为使得 M1 和 M2 之间的反铁磁性取向在所有操作条件下都是稳定的。因此合成铁氧磁传感层的设计者必须正确地选择适当的参数  $Msat1$ ， $Msat2$ ， $t1$ ， $t2$ ， $t_s$ ， $H_{c1}$ ， $H_{c2}$ ，以及间隔层材料的组合，以便构造坚固的设备。在设备设计中包含  $H_{exc}$  比与单独使用杂散场耦合提供了更大的灵活性。特别地， $H_{exc}$  允许设计者在选择  $t1$ ， $t2$  和位形状时，比仅仅使用  $H_{d12}$  和  $H_{d21}$  来在层 47 和层 51 之间产生反铁磁性耦合具有更大的自由度。

本发明的一个实施例也可以使用巨磁阻效应（GMR）传感器来实现。在 GMR 传感器中，绝缘隧道势垒 45 将被导体例如铜所取代。写入将以使用 TMR 传感层 53 对于 MRAM 位 11 所执行的精确相同的方式来进行，但是读出将通过使电流平行于位 11 的平面流动的方式来进行（与在 TMR MRAM 位 11 的例子中垂直的情况相反）。可能需要行 13 和列 15 导线或其它导线的不同排列来以 GMR 传感器读取一 MRAM 位。

图 5a 示出了如果第二铁磁层 47 的底层是 4nm 厚，在由椭圆形合成铁氧磁传感层 53 发出的 150nm 处的位间杂散场  $H_{ib}$  作为厚度的函数的计算结果。位间杂散场  $H_{ib}$  在图 5c 中示意出。在图 5a 中模型化的传感层 53 的实施例包括由 NiFe 形成的铁磁层 55（6nm），间隔层 49 和由 NiFe 形成的铁磁层 51（4nm）。

（见图 5b）间隔层 49 的材料是在 0.5 到 2nm 之间厚度的导电金属层，并且可以由 Cu，Ru，或各种金属的合金形成。相比于单层的传感层，合成铁氧磁传感层在相邻位的位置上会产生更小的杂散场。再次参照图 5a，4nm 厚的单层位会在离 15 Oe 的位端点 150nm 处产生相互作用场。随着合成铁氧磁传感层的顶层厚度增加，在相邻位位置处的杂散场就减少，并且然后改变符号。由于顶层制造得太厚，相互作用场就会再次变得太大。应该注意，当顶部铁磁层 51 被沉积到

2nm 到 6nm 的厚度时,在相邻位位置上的杂散场极大地减少。图 5a 示出了随着在相邻位 11 之间减小的杂散场相互作用,在相邻位杂散场中导致的减少会允许阵列 9 中的磁存储位间隔得更近。仅仅使用 Hd12 和 Hd21 来反铁磁性地耦合层 47 和层 51 限制了相关层厚度的范围,它将难于产生展示减小的位间相互作用的工作传感层。

合成铁氧磁传感层的改进的热稳定性在图 6 中示出。图 6 示出了单个的 4nm 厚的 NiFe 椭圆形构图传感层 (270nm×180nm) 的磁滞回线与合成铁氧磁传感层 53 的磁滞回线的比较,类似于如图 5b 中所示的,具有相同的尺寸和使用基于 Landau-Lifshitz-Gilbert 方程的微磁计算的形状。观察热稳定性的替代方式是观察写入一个位所需要的能量。对于未选择的位,这种能量可以被表示为  $E=1/2M_{sat} \cdot H_c \cdot V$ 。应该注意,合成铁氧磁传感层 53 的矫顽磁场 ( $H_c$ ) 值大约比单层膜的  $H_c$  值要高 35%,并且合成铁氧磁材料的磁性体积是单层磁性体积的三倍。磁性体积和  $H_c$  的增长有效地将热稳定性因子提高了  $1.35 \cdot 3 = 4.05$  倍。而且,应该注意,所需要的矫顽场并不是会需要非常高的电流以写入磁性位 11 传感层 53 那么大。

图 7 示出了  $H_{exc}=0$  Oe 和  $H_{exc}=200$  Oe 的合成铁氧磁传感层的微磁性模拟。在  $H_{exc}=0$  Oe 和  $H_{exc}=200$  Oe 的情况之间进行了比较,以便展示在合成铁氧磁传感层 53 中包括在层 47 和 51 之间的反铁磁性交换耦合的优点。在图 7 中的垂直轴指的是归一化的合成铁氧磁传感层的磁矩,而水平轴指的是易磁化轴写入场。该类型的曲线一般称为磁滞或  $M(H)$  回线。所关注的三个  $H$  场值在每一个  $M(H)$  回线中都是明显的。当层 47 和 51 都同时翻转方向并因此保持相反方向的取向时,导致了发生在场  $H_{02}$  处的  $M(H)$  回线中的跳跃。在  $H_{01}$  和  $H_{03}$  处存在的跳越意味着,当传感层被太强的写入场写入时,  $M_1$  和  $M_2$  可以指向相同的方向。合成铁氧磁传感层 53 因此会产生比所需的杂散场  $H_{ib}$  更大的杂散场。因此不需要在比  $H_{03}$  更大的场中写入该位。进而,  $H_{01}$  可能接近 0 Oe,在这种情况下,合成铁氧磁传感层是不稳定的,并且可以磁化成几个不需要的状态。值  $H_{01}$ ,  $H_{02}$  和  $H_{03}$  都严格地依赖于参数  $M_{sat1}$ 、 $M_{sat2}$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_s$ 、 $H_{c1}$  和  $H_{c2}$  的值。应当注意,所有其它的设备参数都是相同的,通过将场  $H_{01}$  和  $H_{03}$  移到更高的值,反铁磁性交换场的包含加大了场  $H_{01}$  和  $H_{02}$  之间的间隔。反铁磁性交换场也减少了在  $H_{01}$  和  $H_{03}$  之间的差异,这是导致更加具有磁性稳

定传感层的效果。Hexc 因此允许在合成传感层优化时的更大自由度。如果遵守条件  $H_{02} < H_{01}$ ，可以得出存在 Hexc 的最小值，其导致对于所有相关的写入场，M1 和 M2 的反平行取向。尽管难以解析地解出该条件，但由于  $|Hexc|$  大于近似地  $((1/2) * [H_{c1} - H_{c2} + H_{d21} - H_{d12}])$  而使得它可以被逼近，因为 Hexc 可以被用来稳定一个不稳定的合成铁氧磁传感层的设计，可以适应在 Msat1, Msat2, t1, 和 t2 的选择中更宽的变化，导致能够建立具有改善的热稳定性和减少的杂散场 Hib 的传感层。

假设最小交换耦合条件被满足了，合成铁氧磁性传感层 53 的磁性特征将在 Hexc 值的很大范围内是稳定的。图 8 是用来演示变化的 Hexc 的效果。图 8 是一个 272nm 乘以 180nm 的椭圆形合成铁氧磁性传感层的写入场 Hsw, 作为 Hexc 和难磁化轴偏置场 Hy\_selected 的函数的曲线。所模拟的叠层是 NiFe (8nm) / 间隔层/NiFe (4nm)，并且选择为允许 Hexc=0 Oe 指向在整个写入场范围内工作作为合成铁氧磁传感层，也就是说，对于  $H_{sw} < H_{02}$ 。参照图 8，写余量可以被定义为 Hsw\_selected 和 Hsw\_unselected 曲线之间的垂直距离。需要一个很大的写余量，因为这允许传感层在一个场值下被写入，该场值可以被选择来使 MRAM 阵列中的位场最大化。从图 8 中可以明显看出，当 Hexc < 200 Oe 时，在写余量中没有变化。随着 Hexc 增加到 200 Oe 之上，写余量缓慢减小。在 Hexc 的一些大值处，写余量变为零，在没有写入位于相同列线上的所有位时，传感层不能被选择用于写入。Hexc 的上限强烈地依赖于参数 Msat1, Msat2, t1, t2, ts, Hc1 和 Hc2，并且对于每个设备设计都应当根据经验来决定。正确选择间隔材料、间隔厚度、Msat1、Msat2、t1 和 t2，能够设置 Hexc。

参考图 9，公开了用于制造本发明的实施例的一种可能的过程。应该注意，在层叠中的各层也可以被颠倒，其可以导致在处理步骤和可能方法中的变化。在任意的情况下，首先，钉扎或参考层 43 沉积在处理部分 113 中。钉扎层 43 可以为耦合的反铁磁性和铁磁性层结构、合成铁氧磁材料、或耦合至合成铁氧磁叠层的反铁磁性层。钉扎层 43 的材料可以从公知的材料中选择，其用于钉扎层 43 的构造包括 FeMn, IrMn, PtMn, NiMn, 或 NiO。对于单层的钉扎层 43 或者，在耦合的反铁磁性或铁磁性层的情况下，IrMn 可以用于反铁磁层，而 NiFe 可以用于铁磁层。接着，在处理部分 115 中，钉扎层 43 被充分地平滑，例如通过溅射蚀刻或其他技术以减少由层表面的不规则导致的磁场耦合 (Neel 耦合)。

在处理部分 117 中，薄隧道势垒层 45 被沉积。隧道势垒可以从包括氧化铝 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 的公知材料中选择。在处理部分 119 中，第二铁磁层 47 由铁磁材料形成，例如 NiFe，以至于充分的反铁磁性交换耦合和杂散场 71, 73 耦合出现在第二铁磁层 47 和所需的第三铁磁层 51 之间，其将随后被沉积。最后，依赖于材料的选择，整个叠层应当在存在磁场的情况下被退火，以便对不同的层设定正确的磁化取向。

充分的反铁磁性交换耦合涉及到传感层 53 的设计，其在第二铁磁层 47 和所需第三铁磁层 51 (后来形成的) 之间提供反铁磁性交换耦合，以便该反铁磁性交换耦合大于零，但小于在跨越间隔层 47 的层 47 和 51 的反铁磁性交换耦合的特定点之后，需要显著增大的磁性转换场强度 ( $H_{sw}$ ) 的值。

如图 8 所示，给定特定的合成铁氧磁体尺寸和材料，在反铁磁性交换耦合的特定点之后 (例如，-200 Oe)，执行写操作所需要施加的磁场 ( $H_x$ ) 必须增大，从而增大进行传感层 53 的磁矩 75, 77 取向转换所需的电流。在一些点，当  $H_{exc}$  太强时，难磁化轴偏置 (对易磁化轴 19 呈 90 度处) 不会足以写入磁存储位 (11) 传感层 53 (转换传感层 53 的磁矩 77, 75 的取向)。

接下来，在处理部分 121 中，第二铁磁层 47 可以被平滑以减少 Neel 耦合 (由界面不规则导致的层 47 和 51 之间的磁性耦合)。在处理部分 123 中，间隔元件 49 由包括 Ru, Cr 或 Cu 的间隔层材料形成，其允许反铁磁性交换耦合，以便在第二铁磁层 47 和所需要的第三铁磁层 51 之间跨越间隔层 49 而出现充分的反铁磁性交换耦合和杂散场耦合。在处理部分 125 中，第三铁磁层 51 由例如 NiFe 的铁磁材料在间隔层 49 的顶部形成，以便在第二铁磁层 47 和第三铁磁层 51 之间跨越间隔层 49 而出现充分的反铁磁性交换耦合和杂散场耦合。另外，很值得注意的是，反铁磁性交换耦合属性是依赖于包括传感层设计、位大小和材料的磁性存储元件位 11 的设计，因此可以变化从而实现在传感层 53 中所需要的充分反铁磁性交换耦合和磁矩转换点分离的效果。

图 10 示出了包括 MRAM 存储阵列 9 的处理器系统 151，阵列 9 由根据本发明实施例构造的磁存储位 11 所组成，并与处理器相耦合，例如，用于数据交换的中央处理器单元 153。磁存储位 11 与处理器 151 电耦合，以允许从存储位 11 中读和写数据。磁存储位 11 可以通过没有示出的存储控制器和总线系统与处理器 151 相耦合，或者通过另一数据传输体系结构与其它部件相耦合。

---

可以参考本发明的各种具体实施例。这些实施例用充分的细节来描述以使本领域的技术人员可以实践该发明。应该理解，在不脱离本发明精神范畴的情况下，可以使用本发明的其它一些实施例，并且可以做出结构和电学上的一些改变。

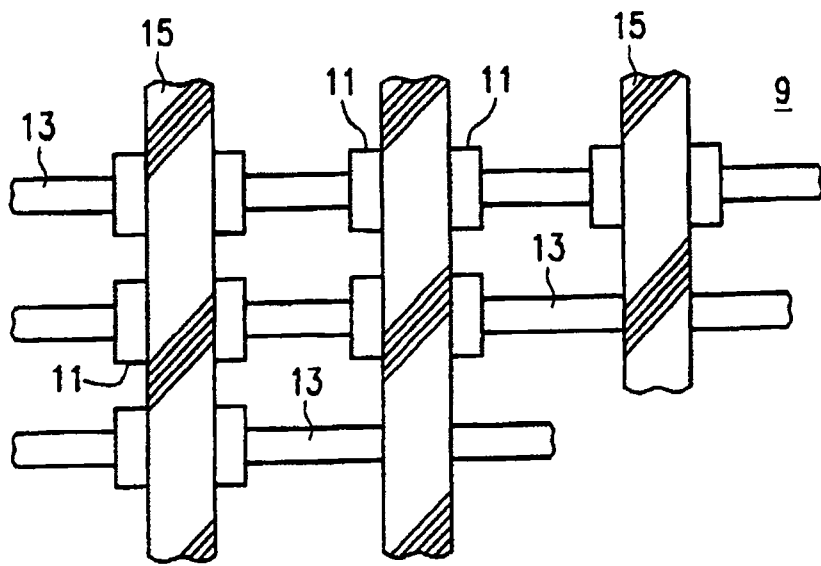


图 1

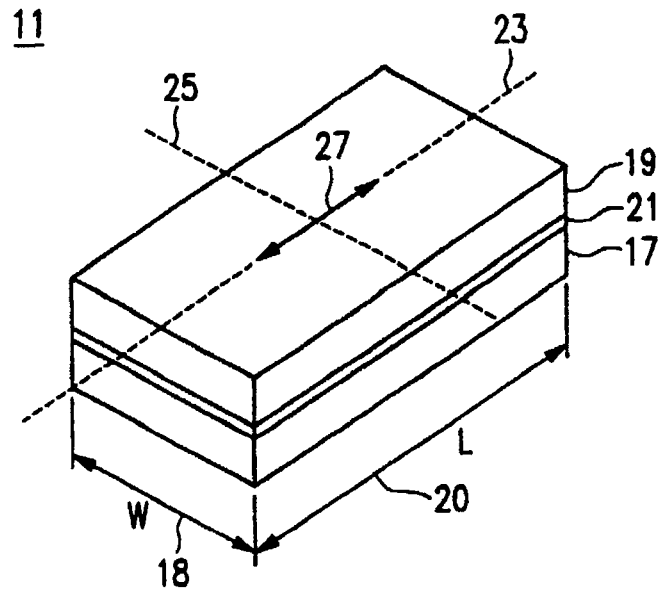


图 2a

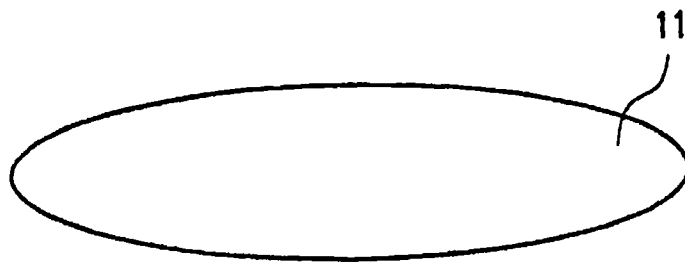


图 2b

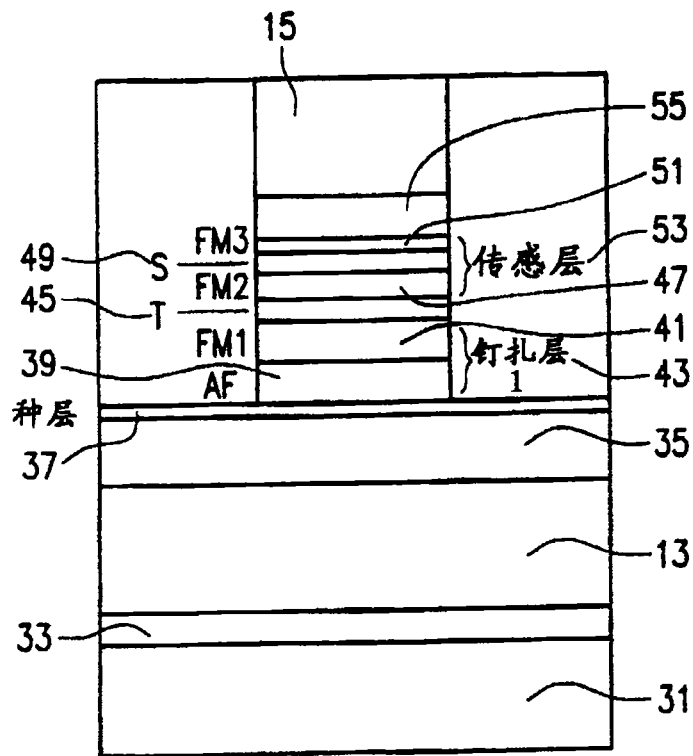


图 3

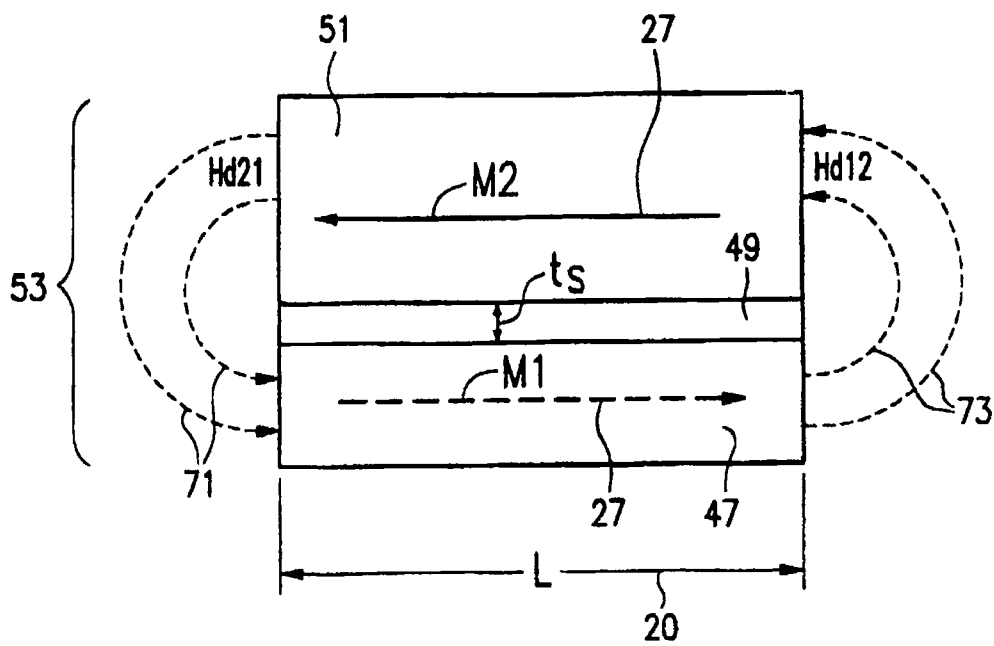


图 4

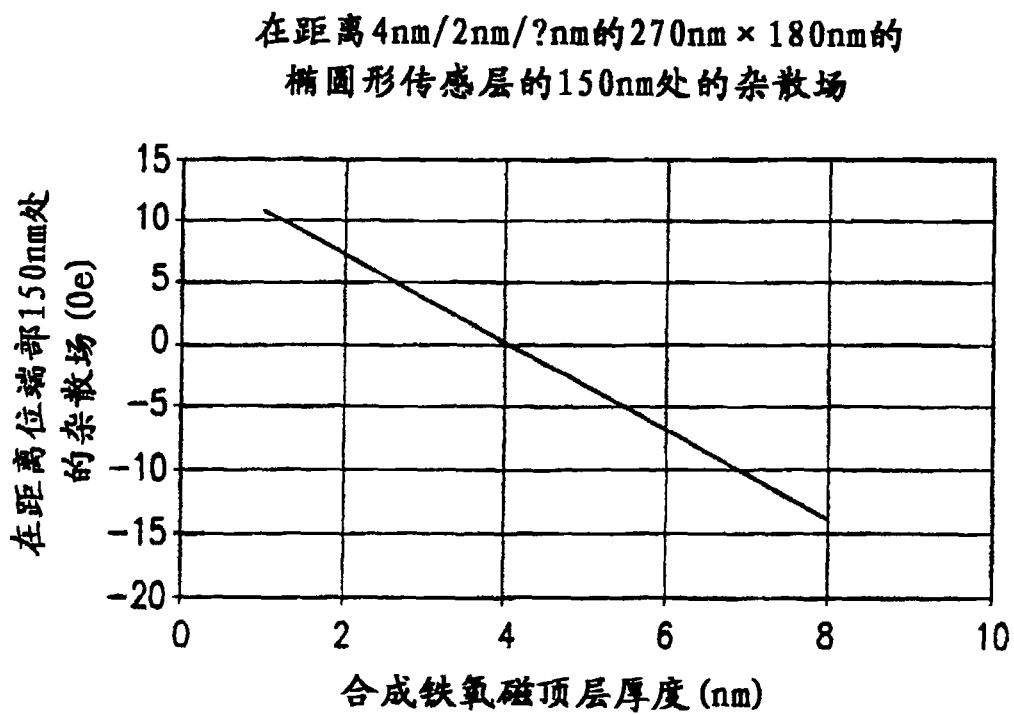


图 5a

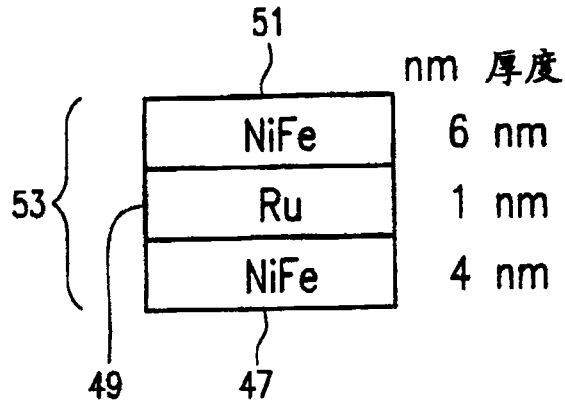


图 5b

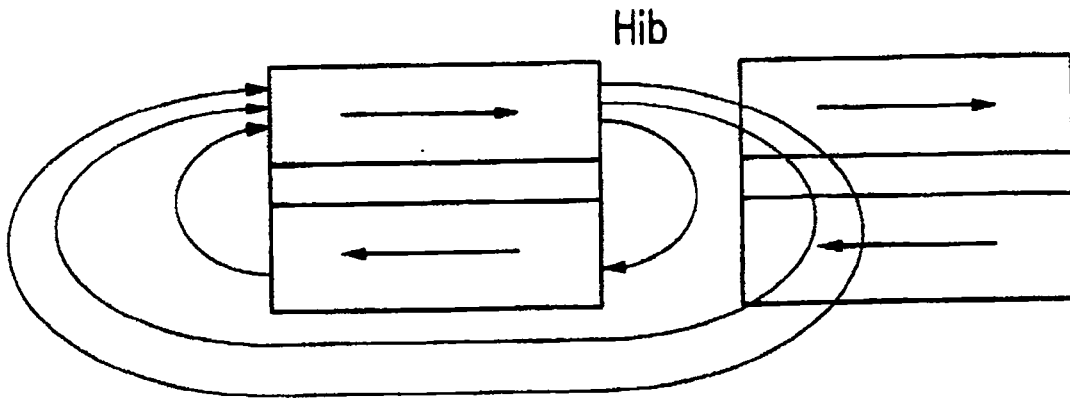


图 5c

270 x 180 nm<sup>2</sup> 椭圆形  
合成铁氧磁材料与单一NiFe比较

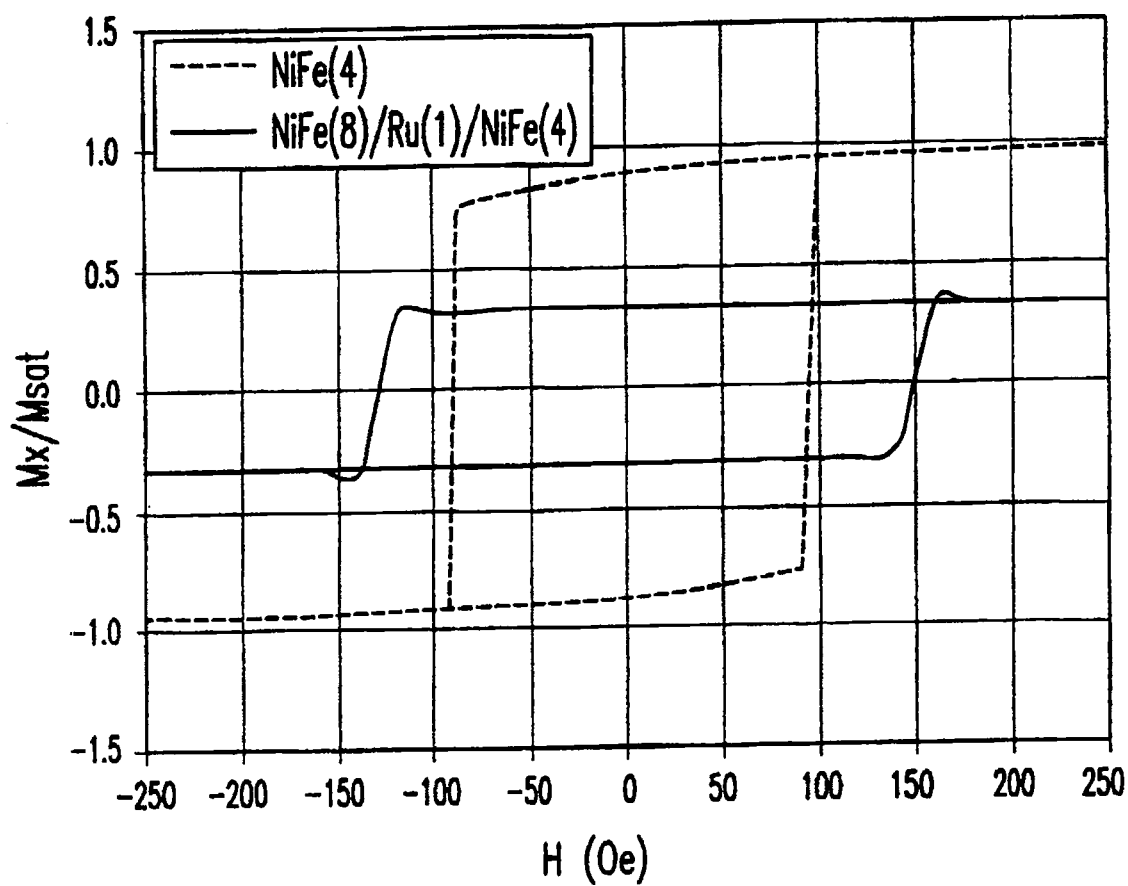


图 6

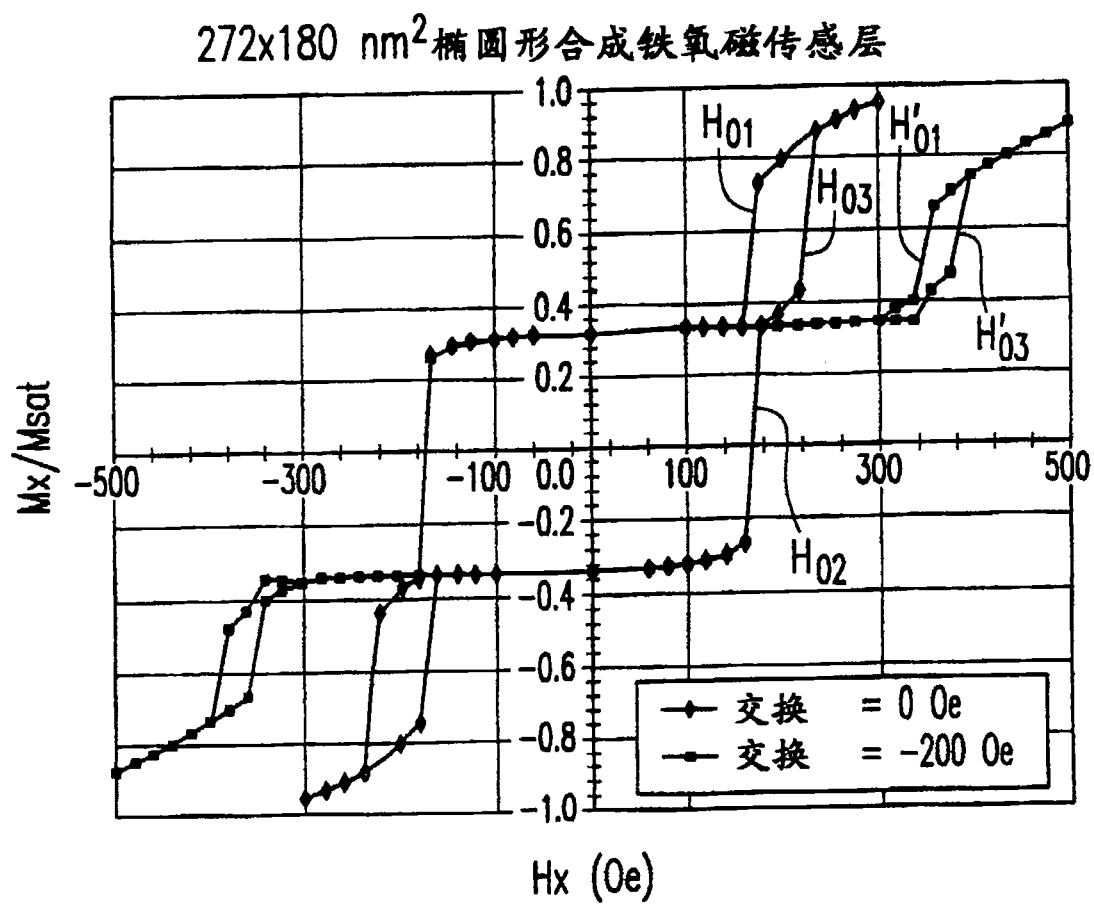


图 7

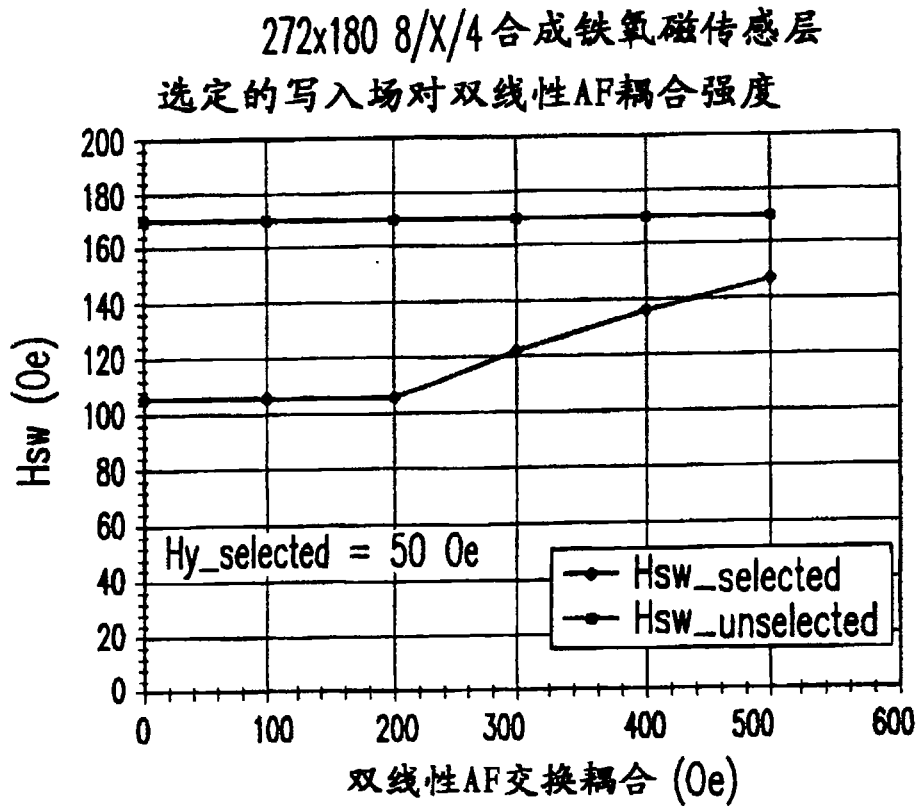


图 8

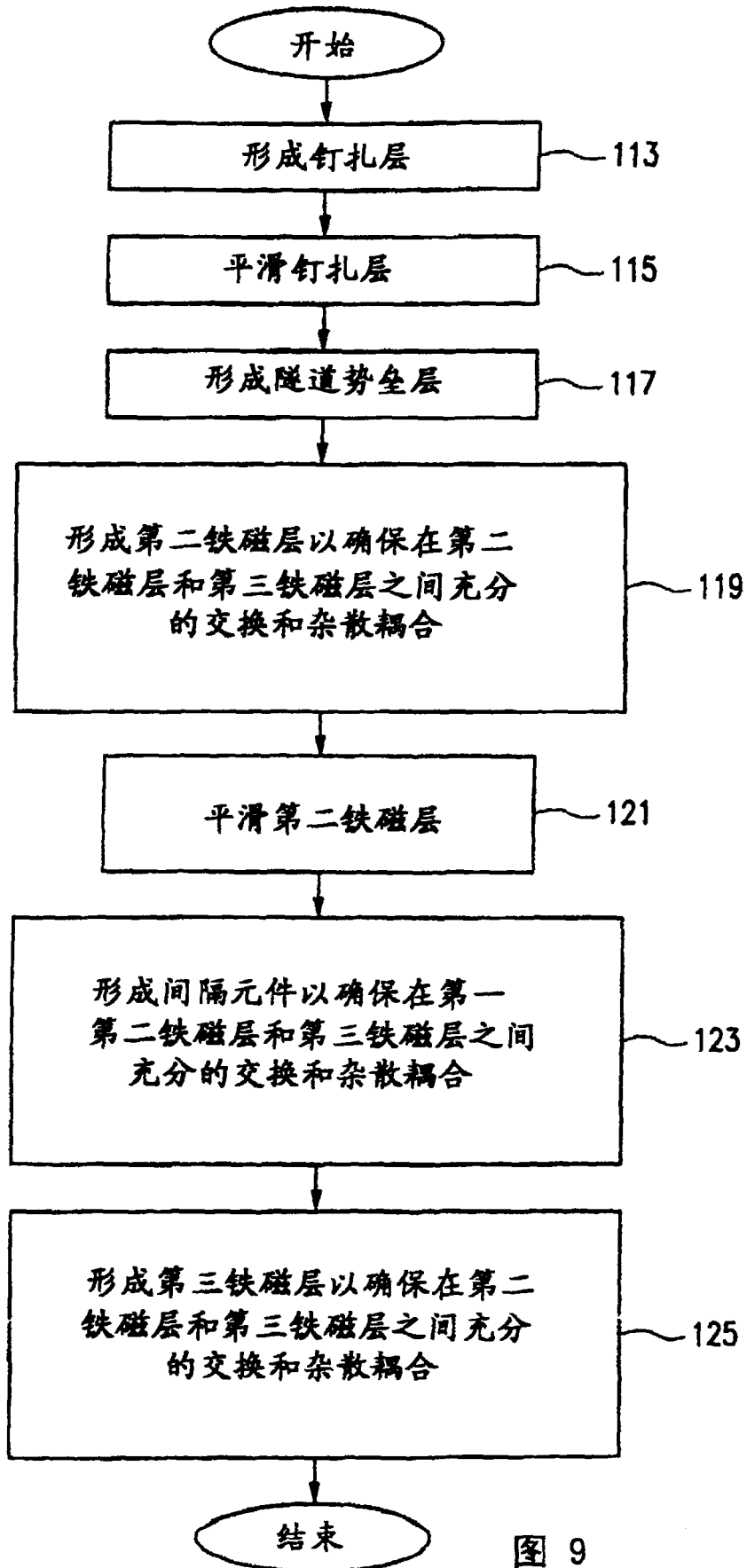


图 9

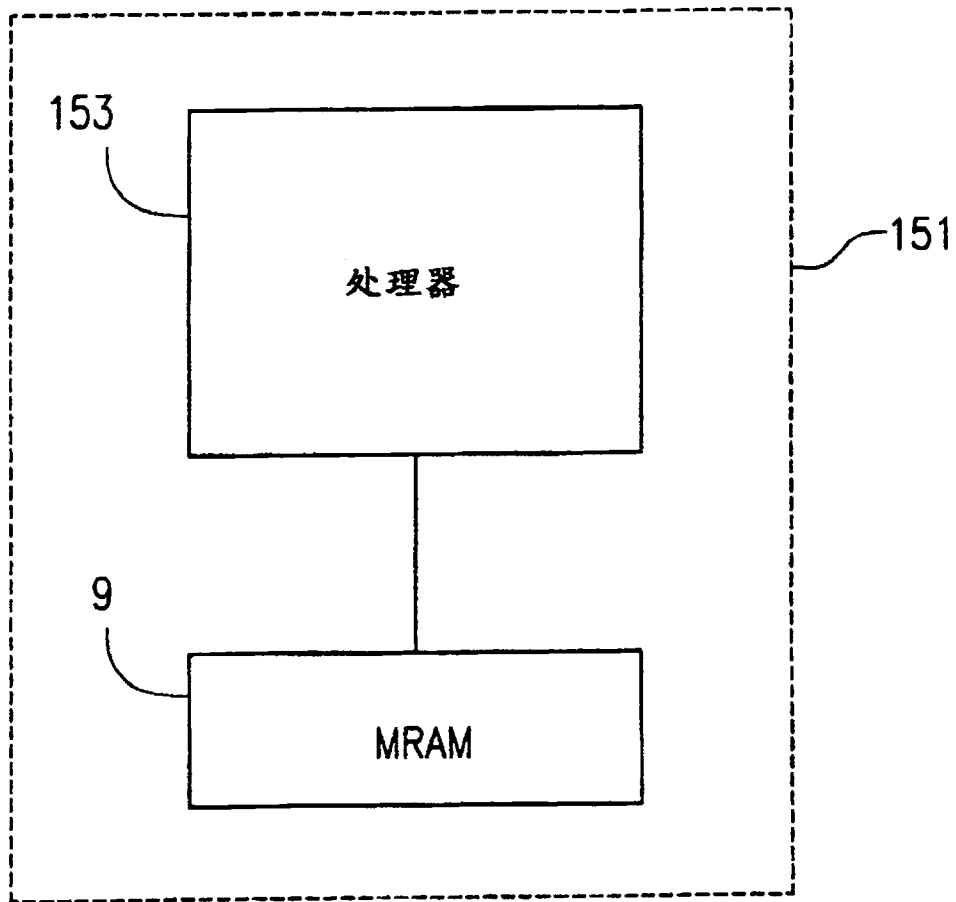


图 10