

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G11C 11/15

H01L 43/08 H01L 29/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200310118330.2

[43] 公开日 2004年6月9日

[11] 公开号 CN 1503269A

[22] 申请日 2003. 11. 21

[21] 申请号 200310118330.2

[30] 优先权

[32] 2002. 11. 22 [33] JP [31] 340043/2002

[71] 申请人 株式会社东芝

地址 日本东京都

[72] 发明人 与田博明 浅尾吉昭 上田知正
宫本顺一 岸达也 天野实 梶山健
相川尚德

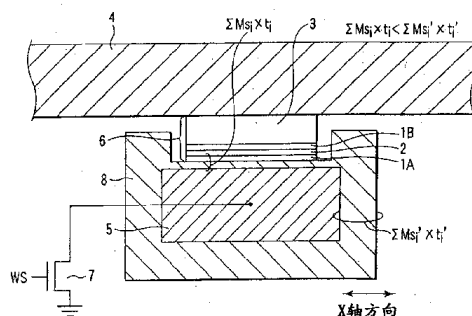
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所
代理人 王以平

权利要求书 5 页 说明书 16 页 附图 10 页

[54] 发明名称 磁随机访问存储器

[57] 摘要

本发明的磁随机访问存储器具有以下特征：写入线被磁轭材料覆盖。MTJ元件的记录层与磁轭材料交换结合。MTJ元件的记录层和与该记录层交换结合的部分的磁轭材料的合计磁量($\sum Ms_i \times t_i$)的值比覆盖写入线的其他部分的磁轭材料的磁量($\sum Ms_i' \times t_i'$)的值小。



ISSN 1008-4274

1. 一种磁随机访问存储器，其特征在于包括：
具有用来记录数据的第 1 磁性层的存储器单元；
具有向上述第 1 磁性层施加磁场的功能的写入线；以及
覆盖上述写入线的全体或一部分的第 2 磁性层，其中

上述第 1 磁性层与上述第 2 磁性层交换结合，并且上述第 1 磁性层的第 1 磁量 ($M_{s1} \times t_1$) 和上述第 2 磁性层中的与上述第 1 磁性层交换结合的第 1 部分的第 2 磁量 ($M_{s2} \times t_2$) 的合计值比上述第 2 磁性层中的上述第 1 部分以外的第 2 部分的主要部分的第 3 磁量 ($M_{s'} \times t'$) 的值小，

(M_{s1}) 是上述第 1 磁性层的饱和磁化，(t_1) 是上述第 1 磁性层的厚度，(M_{s2}) 是上述第 2 磁性层的上述第 1 部分的饱和磁化，(t_2) 是上述第 2 磁性层的上述第 1 部分的厚度，($M_{s'}$) 是上述第 2 磁性层的上述第 2 部分的主要部分的饱和磁化，(t') 是上述第 2 磁性层的上述第 2 部分的主要部分的厚度。

2. 根据权利要求 1 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 1 和第 2 磁量的合计值占上述第 3 磁量的值的比例值小于等于 0.9。

3. 根据权利要求 1 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 1 和第 2 磁量的合计值占上述第 3 磁量的值的比例值小于等于 0.3。

4. 根据权利要求 1 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 2 磁性层的磁化方向为上述写入线的长度方向。

5. 根据权利要求 4 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 1 磁性层磁化方向为上述写入线的宽度方向。

6. 根据权利要求 5 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
在上述写入线中流过具有与写入数据的值对应的方向的写入电流。

7. 根据权利要求4所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第1磁性层的磁化方向为上述写入线的长度方向。
8. 根据权利要求7所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
在上述写入线中总是流过具有一定方向的写入电流。
9. 根据权利要求1所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第2磁性层的导磁率比上述第1磁性层的导磁率大。
10. 根据权利要求1所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第2磁性层具有比上述第1磁性层高的饱和磁通密度。
11. 一种磁随机访问存储器, 其特征在于包括:
具有用来记录数据的第1磁性层的存储器单元;
具有向上述第1磁性层施加磁场的功能的写入线; 以及
覆盖上述写入线的全体或一部分的第2磁性层, 其中
上述第1磁性层与上述第2磁性层交换结合, 并且上述第2磁性层中的与上述第1磁性层交换结合的第1部分的厚度被设置为比上述第2磁性层中的上述第1部分以外的第2部分的主要部分的厚度小。
12. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述写入线在进行写入动作时, 与用来选择上述存储器单元的写入选择晶体管连接。
13. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
在上述第1磁性层和上述第2磁性层之间配置非磁性层。
14. 根据权利要求13所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述非磁性层是Cu。
15. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第1磁性层被配置在上述写入线的上部。
16. 根据权利要求15所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第2磁性层至少覆盖上述写入线的侧面或下面。
17. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第2磁性层只被配置在上述存储器单元的邻域。
18. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:

上述第2磁性层的上述第1部分的层结构与上述第2磁性层的上述第2部分的层结构相同。

19. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
构成上述第2磁性层的上述第1部分的材料与构成上述第2磁性层的上述第2部分的材料相同。

20. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第1磁性层在进行写入动作时, 通过流过上述写入线的写入电流而被加热。

21. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第2磁性层的磁化方向为上述写入线的长度方向。

22. 根据权利要求21所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第1磁性层磁化方向为上述写入线的宽度方向。

23. 根据权利要求22所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
在上述写入线中流过具有与写入数据的值对应的方向的写入电流。

24. 根据权利要求21所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第1磁性层的磁化方向为上述写入线的长度方向。

25. 根据权利要求24所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
在上述写入线中总是流过具有一定方向的写入电流。

26. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第2磁性层的导磁率比上述第1磁性层的导磁率大。

27. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第2磁性层具有比上述第1磁性层高的饱和磁通密度。

28. 根据权利要求11所述的磁随机访问存储器, 其特征在于:
上述第1磁性层在其下面和侧面与上述第2磁性层交换结合。

29. 一种磁随机访问存储器, 其特征在于包括:
具有用来记录数据的第1磁性层的存储器单元;
具有向上述第1磁性层施加磁场的功能的写入线; 以及
覆盖上述写入线的全体或一部分的第2磁性层, 其中

上述第 2 磁性层具有露出上述写入线的上面的凹部分，上述存储器单元被配置在上述凹部分，上述第 1 磁性层在其侧面与上述第 2 磁性层交换结合。

30. 根据权利要求 29 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述写入线在进行写入动作时，与用来选择上述存储器单元的写入选择晶体管连接。

31. 根据权利要求 29 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
在上述第 1 磁性层和上述第 2 磁性层之间配置非磁性层。

32. 根据权利要求 31 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述非磁性层是 Cu。

33. 根据权利要求 29 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 1 磁性层被配置在上述写入线的上部。

34. 根据权利要求 33 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 2 磁性层至少覆盖上述写入线的侧面或下面。

35. 根据权利要求 29 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 2 磁性层只被配置在上述存储器单元的邻域。

36. 根据权利要求 29 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 1 磁性层在进行写入动作时，通过流过上述写入线的写入电流而被加热。

37. 根据权利要求 29 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 2 磁性层的磁化方向为上述写入线的长度方向。

38. 根据权利要求 37 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 1 磁性层磁化方向为上述写入线的宽度方向。

39. 根据权利要求 38 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
在上述写入线中流过具有与写入数据的值对应的的方向的写入电流。

40. 根据权利要求 37 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 1 磁性层的磁化方向为上述写入线的长度方向。

41. 根据权利要求 40 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：

在上述写入线中总是流过具有一定方向的写入电流。

42. 根据权利要求 29 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 2 磁性层的导磁率比上述第 1 磁性层的导磁率大。

43. 根据权利要求 29 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 2 磁性层具有比上述第 1 磁性层高的饱和磁通密度。

44. 根据权利要求 29 所述的磁随机访问存储器，其特征在于：
上述第 1 磁性层在其下面和侧面与上述第 2 磁性层交换结合。

磁随机访问存储器

技术领域

本发明涉及同时具有写入再现性高和写入效率高的特性的磁随机访问存储器（MRAM: Magnetic Random Access Memory）。

背景技术

现在，正在研究、开发作为同时具有高写入再现性和高写入效率的先进的存储器的磁随机访问存储器。

作为同时具有非易失性、高速性、大容量的存储器单元，已知有 GMR（巨大磁阻）元件或 MTJ（隧道效应磁阻）元件。对于数据读取，使用 MTJ 元件的存储器与使用 GMR 元件的存储器相比，由于能够确保大信号量，所以现在正在集中进行使用了 MTJ 元件的磁随机访问存储器的研究、开发。

图 1 展示了使用了 MTJ 元件的磁随机访问存储器的单元阵列构造的例子。

MTJ 元件的基本构造是由 2 个磁性层（强磁性层）1A、1B 夹着绝缘层（隧道壁垒）2 的构造。根据 2 个磁性层 1A、1B 的磁化方向是平行还是相反平行来判断单元数据。在此，平行是指 2 个磁性层 1A、1B 的磁化方向相同，相反平行是指 2 个磁性层 1A、1B 的磁化方向相反。

反强磁性层 3 固定磁性层 1B 的磁化方向。磁化方向被固定了的磁性层 1B 又被称为固定层或管脚层。通过磁场改变磁化方向的磁性层 1A 又被称为记录层或自由层。

如图 2 所示，通过使向右或向左的磁场作用于磁性层 1A 来进行写入。如图 3 所示，通过检测出 MTJ 元件的电阻值来进行读出。在 MTJ 元件的磁化方向平行时，MTJ 元件的隧道壁垒的隧道电阻最低。

例如设该状态为“0”的状态。在 MTJ 元件的磁化方向相反平行时，MTJ 元件的隧道壁垒的隧道电阻最高。例如设该状态为“1”的状态。

磁随机访问存储器的最大课题是降低写入电流。但是，在使用 MTJ 元件的存储器中，由于写入电流的值比理想值大（8~10mA），并且写入电流的值的离散在比特线间很大，所以有会产生误写入等的问题。

所以，为了使磁随机访问存储器实用化，必须将写入电流值及其离散降低到能够容许的水平内。现在，由学会报告的对应于宽约 0.6 μm ，长约 1.2 μm 的 MTJ 元件的写入电流的值是约 8mA。

对于使 MTJ 元件的记录层（例如 NiFe，厚度 2~5nm）的磁化方向反转，因写入电流而产生的磁场必须有充分的强度。这意味着如果减弱使 MTJ 元件的记录层的磁化方向反转所必需的磁场，则也能够降低写入电流的值。

MTJ 元件的记录层的磁化方向的反转所必需的磁场 H 由下式决定：

$$H \approx 4\pi M_s \times t/F[\text{Oe}] \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

M_s ：记录层的饱和磁化， t ：记录层的厚度， F ：记录层的宽度

根据式（1）可以知道，通过减薄记录层的厚度 t ，能够减弱 MTJ 元件的记录层的磁化方向的反转所必需的磁场 H。

但是，为了确保热干扰的承受性，MTJ 元件的记录层的薄膜化是有限度的。另外，如果考虑 MTJ 元件的加工方面的因素等，则记录层的宽度 F 如果在 0.15 μm 以下，则有必要增大记录层的厚度 t 。

进而，根据式（1）可以知道，MTJ 元件的记录层的磁化方向的反转所必需的磁场 H 与记录层的宽度 F 成反比。由于伴随着将来 MTJ 元件的细微化，记录层的宽度 F 有减小的趋势，所以如果保持原样，则写入电流的值就会不断增大。

另一方面，能够流过布线的电流的电流密度是有上限的。在布线由 Cu 构成的情况下，该上限为 $1 \times 10^7 [\text{A}/\text{cm}^2]$ 。另外，由于伴随着 MTJ 元件的细微化，布线的截面积也减小，所以该上限会进一步降低。

作为结果，就不能产生反转记录层的磁化方向所必需的磁场 H 了。

在这种状况下，新开发出来的技术是附加磁轭布线技术。

附加磁轭布线技术是指在至少存在 MTJ 元件的区域中，用 NiFe 等软磁性材料（磁轭材料）覆盖作为写入线的布线（例如 Cu）。根据该技术，能够效率更高地使磁场集中在 MTJ 元件上，能够降低写入电流的值。

现在，由学会等报告了在适用了附加磁轭布线技术的存储器中，与没有适用该技术的存储器相比，具有写入效率提高为 2 倍的效果。

即，如根据图 4 所示的实验结果所明了的那样，为了使 MTJ 元件的记录层的磁化方向反转，在适用了附加磁轭布线技术的存储器中，与没有适用该技术的存储器相比，使用一半的写入电流就足够了。

在适用了附加磁轭布线技术的磁随机访问存储器中，得到了降低写入电流的值的 effect，但写入电流的值及其离散程度并不能说充分适于磁随机访问存储器的实用化。

例如，对于覆盖了磁轭材料的写入线，在通过实验和计算机模拟进行研究后，新产生了以下问题：与确认了的写入效率提高为约 2 倍相对应，干扰（半选择单元的误写入）也增加了。

为了在解决该问题的同时，谋求降低写入电流，而有必要研究以下所示的 3 点。

① 写入选择晶体管

例如，对 MTJ 元件个别设置写入线，使电流只流过被选择了的 MTJ 元件的写入线的技术，该技术具有减少干扰的效果。

② 覆盖写入线的全表面

用磁轭材料覆盖写入线的全表面（上下面和侧面）的技术。通过用磁轭材料包围写入线，能够进一步提高写入效率。

③ 交换结合

使 MTJ 元件的记录层（磁性材料）与磁轭材料（磁性材料）接触，使 MTJ 元件和磁轭材料交换结合的技术。在此，交换结合是指使电子的能量交换而相互作用地进行动作。通过使 MTJ 元件的记录层和

磁轨材料交换结合，能够提高写入效率。

图 5 展示了适用了上述①、②和③所有技术的磁随机访问存储器的 MTJ 元件及其旁边的器件的构造的例子。

在相互交叉的 2 个写入线 4、5 的交点上配置 MTJ 元件 6。写入线 5 与写入选择晶体管 7 连接。由磁轨材料 (NiFe 等) 8 覆盖写入线 5 的全表面。在存在于写入线 5 的上面的磁轨材料 8 上, 直接配置 MTJ 元件 6。MTJ 元件 6 的记录层 1A 与磁轨材料 8 交换结合。

在此, 在设 M_s 为磁性层的饱和磁化, t 为磁性层的厚度的情况下, 将 $M_s \times t$ 定义为磁量。如果对写入线 5 周围的磁量进行研究, 则在写入线 5 的侧面和下面,

$$\sum M s_i' \times t_i' = M s' \times t'$$

M_s 为磁轨材料的饱和磁化, t' 是磁轨材料的厚度

与此相对, 在写入线 5 的上面,

$$\sum M s_i \times t_i = M s \times t + M s' \times t'$$

M_s 为 MTJ 元件的记录层的饱和磁化, t 是 MTJ 元件的记录层的厚度

所以, 在图 5 的磁随机访问存储器中, 下式的关系成立:

$$\sum M s_i' \times t_i' < \sum M s_i \times t_i$$

根据图 5 所示的器件构造, 对于干扰能够得到可以满足的结果。但是, 对于写入电流的值只能够降低到 1mA 左右。如果假设写入电流为 1mA, 则该写入电流流过的写入选择晶体管的大小 (隧道宽度) 有必要为 $1 \mu\text{m}$ 左右。另外, 如上所述, 针对每个 MTJ 元件设置写入选择晶体管。

所以, 如果要构筑具有 256 兆比特或更大的存储器容量的磁随机访问存储器, 则会成为不可能的巨大的芯片尺寸, 而更加远离了实用化。

最大的问题是写入再现性低这一点。即, 会产生以下现象: 有时即使写入电流为 1mA 就能够进行写入, 但如果反复进行重写, 则十几%的概率会不能重写 (写入成功率=约 87%)。

其原因可以推测为在反复进行写入过程中，覆盖写入线的磁轭材料（磁性材料）的磁化残存在写入线的外周方向，因此，有磁轭材料的导磁率极端减小的情况。

发明内容

与本发明的例子有关的磁随机访问存储器具备具有用来记录数据的第1磁性层的存储器单元、用来向上述第1磁性层施加磁场的写入线、覆盖上述写入线的全体或一部分的第2磁性层，上述第1磁性层与上述第2磁性层交换结合，并且上述第1磁性层的第1磁量 $M_{s1} \times t_1$ 和上述第2磁性层中的与上述第1磁性层交换结合的第1部分的第2磁量 $M_{s2} \times t_2$ 的合计值比上述第2磁性层中的上述第1部分以外的第2部分的主要部分的第3磁量 $M_{s'} \times t'$ 的值小。

M_{s1} 是上述第1磁性层的饱和磁化， t_1 是上述第1磁性层的厚度， M_{s2} 是上述第2磁性层的上述第1部分的饱和磁化， t_2 是上述第2磁性层的上述第1部分的厚度， $M_{s'}$ 是上述第2磁性层的上述第2部分的主要部分的饱和磁化， t' 是上述第2磁性层的上述第2部分的主要部分的厚度。

与本发明的例子有关的磁随机访问存储器具备具有用来记录数据的第1磁性层的存储器单元、用来向上述第1磁性层施加磁场的写入线、覆盖上述写入线的全体或一部分的第2磁性层，上述第1磁性层与上述第2磁性层交换结合，并且设置上述第2磁性层中的与上述第1磁性层交换结合的第1部分的厚度比上述第2磁性层中的上述第1部分以外的第2部分的主要部分的厚度小。

与本发明的例子有关的磁随机访问存储器具备具有用来记录数据的第1磁性层的存储器单元、用来向上述第1磁性层施加磁场的写入线、覆盖上述写入线的全体或一部分的第2磁性层，上述第2磁性层具有露出上述写入线的上面的凹部分，上述存储器单元被配置在上述凹部分中，上述第1磁性层在其侧面与上述第2磁性层交换结合。

附图说明

图 1 是展示现有的磁随机访问存储器的斜视图。

图 2 是展示写入动作的原理的图。

图 3 是展示读出动作的原理的图。

图 4 是展示基于附加磁轭布线技术的提高写入效率的效果的图。

图 5 是展示现有的磁随机访问存储器的截面图。

图 6 是展示本发明的实施例 1 相关的磁随机访问存储器的截面图。

图 7 是展示本发明的实施例 1 相关的磁随机访问存储器的斜视图。

图 8 是展示本发明的实施例 2 相关的磁随机访问存储器的斜视图。

图 9 是展示本发明的实施例 3 相关的磁随机访问存储器的斜视图。

图 10 是展示本发明的实施例 4 相关的磁随机访问存储器的斜视图。

图 11 是展示本发明的实施例 5 相关的磁随机访问存储器的斜视图。

图 12 是展示本发明的实施例 6 相关的磁随机访问存储器的斜视图。

图 13 是展示本发明的实施例 7 相关的磁随机访问存储器的斜视图。

图 14 是展示本发明的实施例 8 相关的磁随机访问存储器的斜视图。

图 15 是展示覆盖写入线的磁轭材料的磁化方向的例子的斜视图。

图 16 是展示覆盖写入线的磁轭材料的磁化方向的例子的斜视图。

图 17 是展示流过写入线的写入电流的方向的例子的斜视图。

图 18 是展示流过写入线的写入电流的方向的例子的斜视图。

图 19 是展示磁量比与写入电流、写入成功率的关系的图。

具体实施方式

以下，参照附图详细说明与本发明的例子有关的磁随机访问存储器。

1. 概要

本发明的实施例适用于具有被磁轭材料（磁性材料）覆盖的写入线的磁随机访问存储器。磁轭材料由于具有增大施加到 MTJ 元件的感应磁场的作用，所以如果使用这样的附加磁轭布线技术，则基本上能够以小写入电流，高效率地使 MTJ 元件的磁化方向反转。

另外，本发明的实施例为了进一步提高写入效率，是以发展了附加磁轭布线技术的交换结合技术为前提的。交换结合技术是指例如使 MTJ 元件与磁轭材料接触，在 MTJ 元件的记录层和磁轭材料之间使电子的能量产生相互交换作用的技术。

在此，在本发明的实施例中定义磁量的概念。磁量是指在设磁性层的饱和磁化为“ M_s ”，设磁性层的厚度为“ t ”的情况下，用“ $M_s \times t$ ”表示的参数。

例如，在图 5 的磁随机访问存储器中，在写入线 5 的侧面和下面，磁量为

$$\sum M_{s_i}' \times t_i' = M_{s'} \times t'$$

$M_{s'}$ 是磁轭材料的饱和磁化， t' 是磁轭材料的厚度。

在写入线 5 的上面，磁量为

$$\sum M_{s_i} \times t_i = M_s \times t + M_{s'} \times t'$$

M_s 是 MTJ 元件的记录层的饱和磁化， t 是 MTJ 元件的记录层的厚度。

所以，在图 5 的磁随机访问存储器中，对于磁量，则 $\sum M_{s_i}' \times t_i' < \sum M_{s_i} \times t_i$ 的关系成立。

与此相对，在本实施例中，根据实验结果，设置 MTJ 元件的记录层（磁性材料）和与该记录层交换结合的部分的磁轭材料（磁性材料）的合计磁量 $\sum M_{s_i} \times t_i$ 的值比覆盖写入线的其他部分的磁轭材料的磁量 $\sum M_{s_i}' \times t_i'$ 的值小。

$$\sum M_{s_i}' \times t_i' > \sum M_{s_i} \times t_i$$

在此，在 MTJ 元件的记录层由 n (n 是多个) 层构成的情况下， $\sum M_{s_i} \times t_i$ ($i=1, 2, 3 \cdots n$) 包含加上这些 n 层的磁量的值

$$\Sigma Ms_i \times t_i = Ms_1 \times t_1 + Ms_2 \times t_2 + Ms_3 \times t_3 + \dots + Ms_n \times t_n$$

另外，在与 MTJ 元件的记录层交换结合的部分的磁轨材料由 m (m 是多个) 层构成的情况下， $\Sigma Ms_i \times t_i$ (i=1、2、3...m) 包含加上这些 m 层的磁量的值

$$\Sigma Ms_i \times t_i = Ms_1 \times t_1 + Ms_2 \times t_2 + Ms_3 \times t_3 + \dots + Ms_m \times t_m$$

同样，在与 MTJ 元件的记录层交换结合的部分以外的磁轨材料由 k (k 是多个) 层构成的情况下， $\Sigma Ms_i' \times t_i'$ (i=1、2、3...k) 包含加上这些 m 层的磁量的值

$$\Sigma Ms_i' \times t_i' = Ms_1' \times t_1' + Ms_2' \times t_2' + Ms_3' \times t_3' + \dots + Ms_k' \times t_k'$$

如果满足上述关系，则与 MTJ 元件的记录层接触的部分的磁轨材料的层结构与覆盖写入线的其他部分的磁轨材料的层结构可以是一样的，也可以不一样。另外，构成与 MTJ 元件的记录层接触的部分的磁轨材料的材料与覆盖写入线的其他部分的磁轨材料的材料可以相互一样，也可以不一样。

在与 MTJ 元件的记录层接触的部分的磁轨材料与覆盖写入线的其他部分的磁轨材料具有相同的层结构，并且由相同的材料构成的情况下，如果设置与 MTJ 元件的记录层接触的部分的磁轨材料的厚度比覆盖写入线的其他部分的磁轨材料的厚度薄，则能够满足上述关系。

如果采用这样的器件构造，则可以使写入电流的值在 1mA 以下。另外，越使磁量比 $R_m (= \Sigma Ms_i \times t_i / \Sigma Ms_i' \times t_i')$ 减小，则写入电流的值越小，并且还减少误写入。

另外，通过设置磁轨材料的磁化方向为由该磁轨材料覆盖的写入线延伸方向，则能够提高写入成功率 (减少误写入)。将在后面详细叙述，通过实验已经确认了在磁量比 R_m 被设置在 0.9 以下时，进而在被设置在 0.3 以下时，能够产生明显的效果。

本发明的实施例被适用于写入线。但是，写入线可以只具有作为写入线的功能，也可以具有写入线以外的功能，例如作为读出线的功能。例如，以下所说明的例子由于是以所有接近点型单元阵列构造为对象的，

所以写入线也具有作为读出线的功能。本发明的实施例并不只限于接近点型单元阵列构造,也可以适用于2个写入线中的1个从MTJ元件中分离的单元阵列构造,例如1个晶体管-1个MTJ单元阵列构造等。

2. 例1

图6展示了与本发明的例1相关的磁随机访问存储器的主要部分的器件构造。图7是3维地展示图6的构造的斜视图。

写入线4向X轴方向延伸,写入线5向Y轴方向延伸。写入线4、5由例如Cu构成。MTJ元件6被配置在相互交叉的2个写入线4、5的交点。MTJ元件6具有例如X轴方向长,Y轴方向短的长方形形状。在这种情况下,MTJ元件6的磁化容易轴成为X轴。

MTJ元件6例如由记录层(磁性层)1A、固定层(磁性层)1B、隧道壁垒层2和反磁性层3构成。MTJ元件6的反磁性层3被配置在写入线4侧。反磁性层3由例如PtMn、CoFe等构成。MTJ元件6的记录层1A被配置在写入线5侧。记录层1A由例如NiFe等构成。

MTJ元件6的固定层1B与反磁性层3接触,其磁化方向被固定。固定层1B由例如NiFe构成。隧道壁垒层2被配置在记录层1A和固定层1B之间。隧道壁垒层2由例如Al₂O₃构成。

写入线5被磁轭材料(磁性材料)8覆盖。磁轭材料8由例如NiFe构成。磁轭材料8的导磁率比记录层1A的导磁率大。磁轭材料8具有比记录层1A高的饱和磁通密度。

在存在MTJ元件6的部分以外的部分,磁轭材料8以几乎均匀的厚度t'围在写入线5的周围。如果设存在MTJ元件6的部分以外的部分的磁轭材料8的饱和磁化为Ms',则存在MTJ元件6的部分以外的部分的磁性层(磁轭材料)的磁量为

$$\sum Ms'_i \times t'_i = Ms' \times t'$$

MTJ元件6的记录层1A与覆盖写入线5的磁轭材料8交换结合。例如,MTJ元件6的记录层1A与磁轭材料8接触,在MTJ元件6的记录层1A和磁轭材料8之间,产生电子能量的相互交换作用。

存在MTJ元件6的部分的磁轭材料8的厚度t2比存在MTJ元件

6 的部分以外的部分的厚度（平均值） t' 薄。如果设 MTJ 元件 6 的记录层 1A 的厚度为 t_1 ，记录层 1A 的饱和磁化为 M_{s1} ($=M_s$)，存在 MTJ 元件 6 的部分的磁轭材料 8 的饱和磁化为 M_{s2} ($=M_{s'}$)，则存在 MTJ 元件 6 的部分的磁性层（记录层+磁轭材料）的磁量的合计值为

$$\sum M_{s_i} \times t_i = M_{s1} \times t_1 + M_{s2} \times t_2 = M_s \times t_1 + M_{s'} \times t_2$$

在本发明的实施例中，如上所述，MTJ 元件 6 的记录层 1A 和与该记录层 1A 交换结合的部分的磁轭材料 8 的合计磁量 $\sum M_{s_i} \times t_i$ 的值被设置为比覆盖写入线 5 的其他部分的磁轭材料 8 的磁量 $\sum M_{s_i'} \times t_i'$ 的值小。

$$\sum M_{s_i} \times t_i < \sum M_{s_i'} \times t_i'$$

3. 例 2

图 8 展示了与本发明的例 2 有关的磁随机访问存储器的主要部分的器件构造。

本例的器件构造的特征与例 1 相比，具有 MTJ 元件 6 的 X 轴（磁化容易轴）方向的端部与磁轭材料 8 接触的特点。在这种情况下，MTJ 元件 6 的记录层在其下面和侧面与磁轭材料 8 交换结合。其他特点与例 1 完全一样。

在本例子中，MTJ 元件 6 的记录层和与该记录层交换结合的部分的磁轭材料 8 的合计磁量 $\sum M_{s_i} \times t_i$ 的值被设置为比覆盖写入线 5 的其他部分的磁轭材料 8 的磁量 $\sum M_{s_i'} \times t_i'$ 的值小。

4. 例 3

图 9 展示了与本发明的例子 3 有关的磁随机访问存储器的主要部分的器件构造。

本例子的器件构造的特征与例 2 相比，具有在 MTJ 元件 6 的正下方不存在磁轭材料的特点，即 MTJ 元件 6 的下面不经由磁轭材料而与写入线 5 的上面接触。

所以，MTJ 元件 6 只在其 X 轴（磁化容易轴）方向的端部与磁轭材料 8 接触。在这种情况下，MTJ 元件 6 的记录层在其侧面与磁轭材料 8

交换结合。其他特点与例 2 完全相同。

在本例子中，MTJ 元件 6 的记录层和与该记录层交换结合的部分的磁轨材料 8 的合计磁量 $\Sigma Ms_i \times t_i$ 的值被设置为比覆盖写入线 5 的其他部分的磁轨材料 8 的磁量 $\Sigma Ms_i' \times t_i'$ 的值小。

5. 例 4

图 10 展示了与本发明的例 4 有关的磁随机访问存储器的主要部分的器件构造。

本例的器件构造的特征与例 1 相比，具有磁轨材料 8 只覆盖写入线 5 的一部分的特点。在本例子中，磁轨材料 8 被配置在 2 个写入线 4、5 的交点上，即只被配置在存在 MTJ 元件 6 的部分。其他的特点与例 1 相同。

在本例中，MTJ 元件 6 和磁轨材料 8 交换结合。另外，MTJ 元件 6 的记录层和与该记录层交换结合的部分的磁轨材料 8 的合计磁量 $\Sigma Ms_i \times t_i$ 的值被设置为比覆盖写入线 5 的其他部分的磁轨材料 8 的磁量 $\Sigma Ms_i' \times t_i'$ 的值小。

6. 例 5

图 11 展示了与本发明的例 5 有关的磁随机访问存储器的主要部分的器件构造。

本例的器件构造的特征与例 1 相比，具有 MTJ 元件 6 的磁化容易轴是 Y 轴的特点。即，MTJ 元件 6 具有在 X 轴方向短，Y 轴方向长的长方形形状。其他特点与例 1 完全相同。

在本例中，MTJ 元件 6 和磁轨材料 8 也交换结合。另外，MTJ 元件 6 的记录层和与该记录层交换结合的部分的磁轨材料 8 的合计磁量 $\Sigma Ms_i \times t_i$ 的值被设置为比覆盖写入线 5 的其他部分的磁轨材料 8 的磁量 $\Sigma Ms_i' \times t_i'$ 的值小。

7. 例 6

图 12 展示了与本发明的例 6 有关的磁随机访问存储器的主要部分的器件构造。

本例的器件构造的特征与例 1 相比，具有写入线 5 的下面不被磁

磁材料 8 覆盖的特点。其他特点与例 1 完全相同。在这种情况下，与写入线 5 的整个面被磁材料 8 覆盖的情况相比，能够得到减少制造工序数而降低成本的效果。

在本例中，MTJ 元件 6 和磁材料 8 也交换结合。并且，MTJ 元件 6 的记录层和与该记录层交换结合的部分的磁材料 8 的合计磁量 $\sum Ms_i \times t_i$ 的值被设置为比覆盖写入线 5 的其他部分的磁材料 8 的磁量 $\sum Ms_i' \times t_i'$ 的值小。

另外，在本例的情况下， t_i' 表示存在 MTJ 元件 6 的部分以外的部分，并且存在磁材料 8 的部分的磁材料 8 的厚度（平均值）。

8. 例 7

图 13 展示了与本发明的例 7 有关的磁随机访问存储器的主要部分的器件构造。

本例的器件构造的特征与例 1 相比，具有写入线 5 的侧面不被磁材料 8 覆盖的特点。其他特点与例 1 完全相同。在这种情况下，与写入线 5 的整个面被磁材料 8 覆盖的情况相比，能够得到减少制造工序数而降低成本的效果。

在本例中，MTJ 元件 6 和磁材料 8 也交换结合。并且，MTJ 元件 6 的记录层和与该记录层交换结合的部分的磁材料 8 的合计磁量 $\sum Ms_i \times t_i$ 的值被设置为比覆盖写入线 5 的其他部分的磁材料 8 的磁量 $\sum Ms_i' \times t_i'$ 的值小。

另外，在本例的情况下， t_i' 表示存在 MTJ 元件 6 的部分以外的部分，并且存在磁材料 8 的部分的磁材料 8 的厚度（平均值）。

9. 例 8

图 14 展示了与本发明的例 8 有关的磁随机访问存储器的主要部分的器件构造。

本例的器件构造的特征与例 1 相比，具有在 MTJ 元件 6 的记录层 1A 和磁材料 8 之间配置了非磁性层 9 的特点。非磁性层 9 由例如 Cu 构成。其他点与例 1 完全相同。

在这种情况下，MTJ 元件 6 的记录层 1A 经由非磁性层 9 与磁材

料 8 交换结合。所以，MTJ 元件 6 的记录层 1A 和与该记录层 1A 交换结合的部分的磁轭材料 8 的合计磁量 $\Sigma Ms_i \times t_i$ 的值被设置为比覆盖写入线 5 的其他部分的磁轭材料 8 的磁量 $\Sigma Ms_i' \times t_i'$ 的值小。

10. 磁轭材料的磁化方向和写入电流的方向

图 15 和图 16 展示了本发明的磁轭材料的磁化方向的例子。

在本发明的例子中，磁轭材料 8 的磁化方向理想的是总是在写入线 5 延伸的方向上，即朝向 Y 轴方向。这是因为通过这样的构造能够避免现有的问题，即由于反复进行写入动作而磁轭材料 8 的磁化残留在写入线 5 的外周方向，而降低了磁轭材料 8 的导磁率的问题。

在图 15 的例子中，磁轭材料 8 的磁化朝向 Y 轴方向（从图上看从外向里的方向）或接近于 Y 轴方向的方向，另外，在图 16 的例子中，磁轭材料 8 的磁化朝向 Y 轴方向（从图上看从里向外的方向）或接近于 Y 轴方向的方向。

MTJ 元件 6 的磁化容易轴例如是 X 轴。在这种情况下，MTJ 元件 6 的记录层 1A 的磁化朝向 X 轴方向，即写入线 5 的宽度方向（对应于数据值为向右或向左）。

图 17 和图 18 展示了本发明的流过写入线 4、5 的写入电流的方向的例子。

通常，在写入线 4、5 中的一个中总是流过一定方向的写入电流，在另一个中流过与写入数据的值对应的方向的写入电流。

在图 17 的例子中，在写入线 4 中总是流过一定方向的写入电流，在被磁轭材料 8 覆盖的写入线 5 中流过与写入数据的值对应的方向的写入电流。在这种情况下，MTJ 元件 6 的磁化容易轴有必要是 X 轴。

在图 18 的例子中，在写入线 4 中流过与写入数据的值对应的方向的写入电流，在被磁轭材料 8 覆盖的写入线 5 中总是流过一定方向的写入电流。在这种情况下，MTJ 元件 6 的磁化容易轴有必要是 Y 轴。

11. 实验结果（效果）

以下，具体说明本发明的效果。

将 MTJ 元件设置为单元宽度约 $0.4 \mu\text{m}$ ，单元长度约 $1.2 \mu\text{m}$ ，将

MTJ 元件和其正下面的写入线（数字线）的间隔设置为约 150nm。另外，MTJ 元件的记录层使用 5nm 左右的 NiFe 膜。

在这种情况下，在没有适用附加磁轭布线技术的磁随机访问存储器中，写入动作所必需的写入电流的平均值约为 10mA。另外，在适用了附加磁轭布线技术的磁随机访问存储器中，写入动作所必需的写入电流的平均值约为 5mA。

另外，通过具有图 5 所示的器件构造的磁随机访问存储器，则写入动作所必需的写入电流的平均值能够减少到 1mA 左右。

在本发明的例子中，进而通过将 MTJ 元件的记录层和与该记录层交换结合的部分的磁轭材料的合计磁量 $\sum Ms_i \times t_i$ 的值设置为比覆盖写入线的其他部分的磁轭材料的磁量 $\sum Ms_i' \times t_i'$ 的值小，能够将写入动作所必需的写入电流的平均值降低到 1mA 以下。

图 19 展示了本发明的实施例的实验结果（效果）。

在此，根据磁量比（ $\sum Ms_i \times t_i / \sum Ms_i' \times t_i'$ ）参数，说明本发明的实施例的效果。

根据本发明的实施例，磁量比总是为 1 以下。另外，可以知道磁量比越小则写入电流的平均值越小，能够提高写入效率。

根据实验结果，通过将磁量比设置为 0.1 左右，能够使写入电流的值为 0.1mA 左右。其结果是，例如在磁随机访问存储器中设置写入选择晶体管，能够减少干扰（半选择单元的误写入）。即，在芯片内设置写入选择晶体管，由于其大小（隧道宽度）非常小约为 0.1 μm ，所以能够实现可行的芯片大小。

进而，根据实验结果可以知道，对于写入成功率（写入再现性），磁量比为 0.9 以下或 0.3 以下能够产生显著的效果。

在磁量比在 1 附近的情况下，写入成功率为稍微超过 80% 的程度，但如果将磁量比设置为 0.9 以下，则写入成功率急剧提高到 95% 左右。进而，如果将磁量比设置为 0.3 以下，则写入成功率几乎为 100%。

写入成功率提高的原因之一如图 15 和图 16 所示，可以考虑是磁轭材料 8 的磁化方向朝向写入线 5 延伸的方向。即，磁轭材料 8 的残

留磁化由于总是几乎朝向布线延伸的方向,所以在其后的写入动作时,能够使磁轨材料的导磁率增大到 1000 左右。

这样,根据本发明的实施例,与现有技术相比,能够将写入效率提高一个数量级。即,能够使写入电流的值为 1mA 以下,进而为 0.1mA 以下。通过使磁量比为 0.9 以下,还能够确保写入成功率(写入再现性)为 95%左右,而使磁量比为 0.3 以下,则能够确保写入成功率几乎为 100%。

另外,根据实验,还确认了以下几点。

在 MTJ 元件的记录层的磁化方向与磁轨材料的磁化方向相同(平行状态)的情况下,泄漏磁场成为辅助交换结合的状态,进而,能够使写入电流的值为 0.05mA 以下。另外,在 MTJ 元件的记录层的磁化方向和磁轨材料的磁化方向成为相反(反平行状态)的情况下,在能够使写入电流的值成为 0.1mA 以下的同时,还能够消除从芯片外部对磁场的干扰。

进而,在 MTJ 元件的记录层的磁化方向和磁轨材料的磁化方向垂直的情况下,能够提高磁轨材料(磁性层)的导磁率、降低写入电流等。

如果采用通过写入电流使 MTJ 元件的附近发热的结构,则能够使写入电流的值为 0.05mA 以下。

12. 其他

本发明的实施例还可以适用于在 MTJ 元件正上方配置的写入线。即,用磁轨材料覆盖配置在 MTJ 元件正上方的写入线,使 MTJ 元件的记录层与该磁轨材料交换结合。所以,也可以将 MTJ 元件的记录层和与该 MTJ 元件交换结合的部分的磁轨材料的合计磁量 $\sum Ms_i \times t_i$ 的值设置为比覆盖配置在 MTJ 元件的正上方的写入线的其他部分的磁轨材料的磁量 $\sum Ms_i' \times t_i'$ 的值小。

本发明的实施例还可以适用于 MTJ 元件和被磁轨材料覆盖的写入线没有通过导电材料(磁性材料)电连接的情况。即,MTJ 元件和写入线也可以通过绝缘材料被绝缘。

MTJ 元件的形状并不特别限定于本发明的实施例。例如,也可以设置为 MTJ 元件的一边的长度与写入线的宽度实质相同。

上述实施例 1~实施例 8 的结构可以分别单独使用，也可以组合 2 个以上地使用。

13. 总结

如以上说明的那样，根据本发明的实施例，能够降低因提高写入效率而造成的写入电流，同时实现没有误写入的高写入再现性。

另外，本发明并不仅限于上述实施例，在本发明的宗旨和范围可以有各种变形，并且这些变形也包含在本发明中。

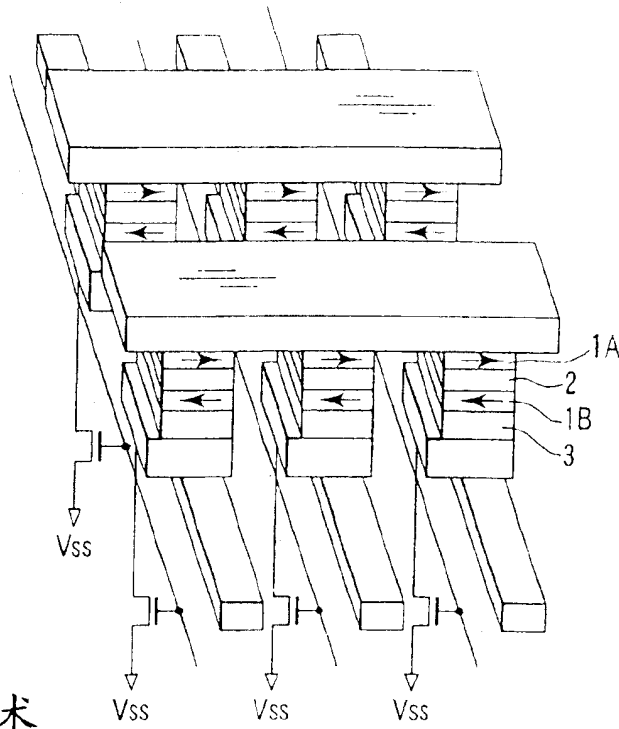
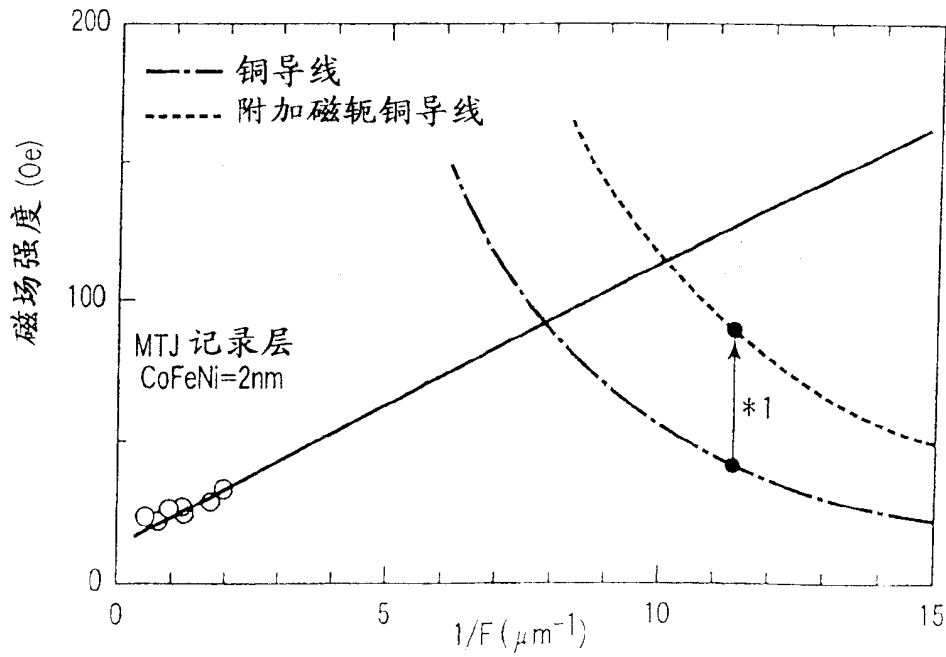


图1 现有技术



*1: 磁场强度几乎为2倍
(产生相同磁场的电流为1/2)

图4 现有技术

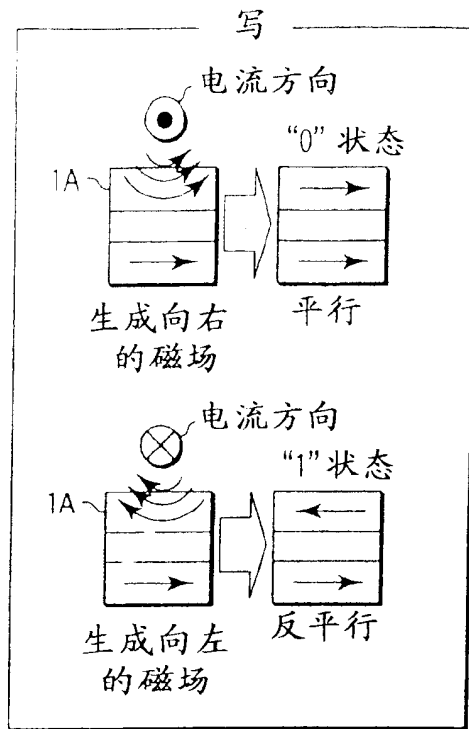


图2
现有技术

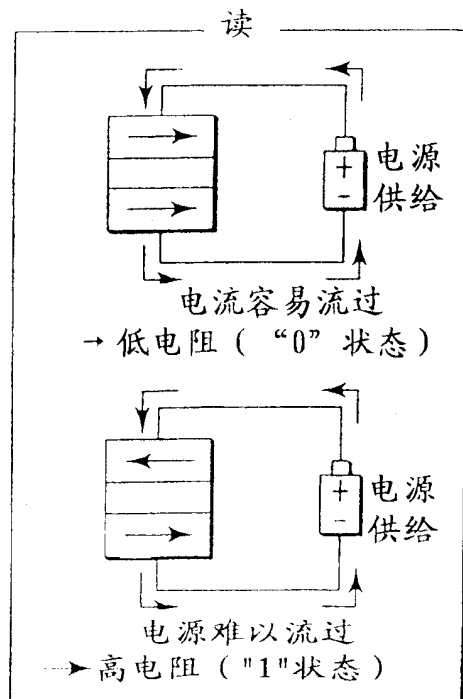


图3
现有技术

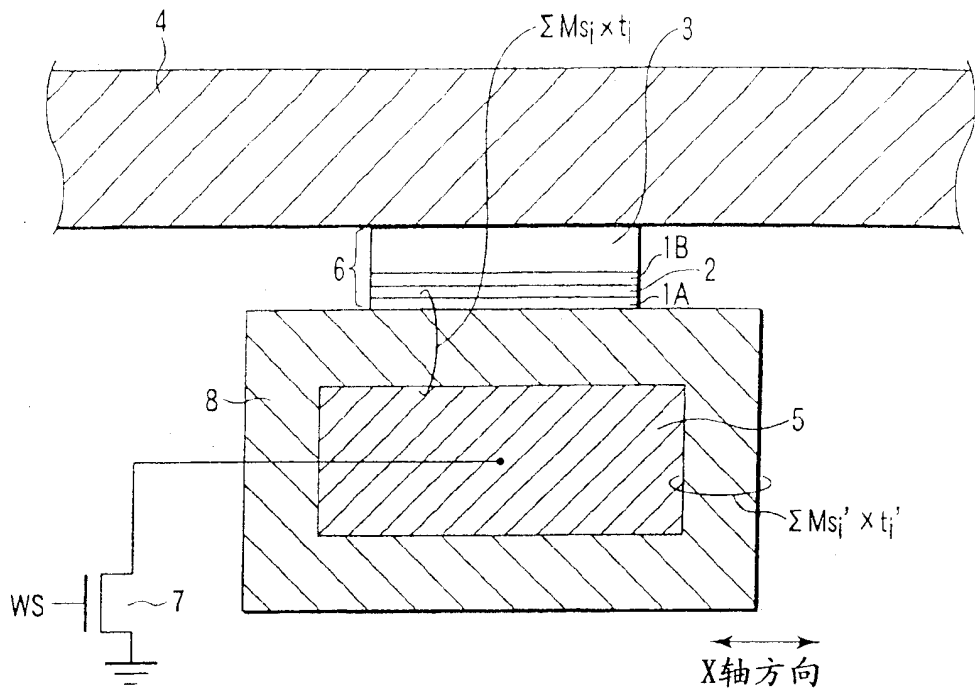


图5 现有技术

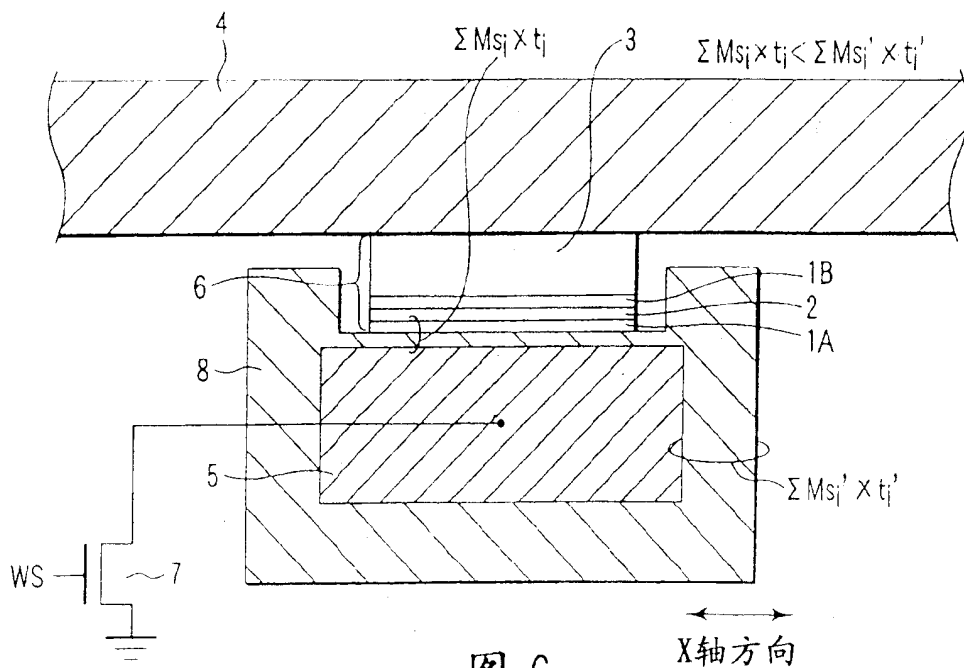


图6

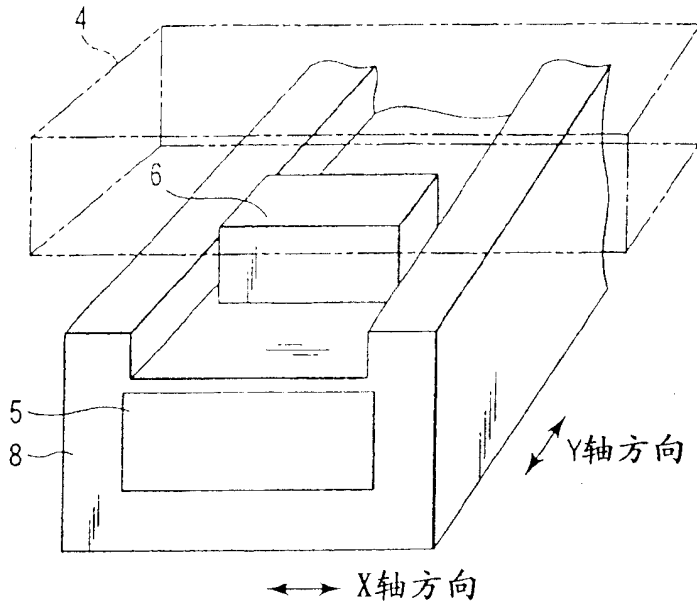


图 7

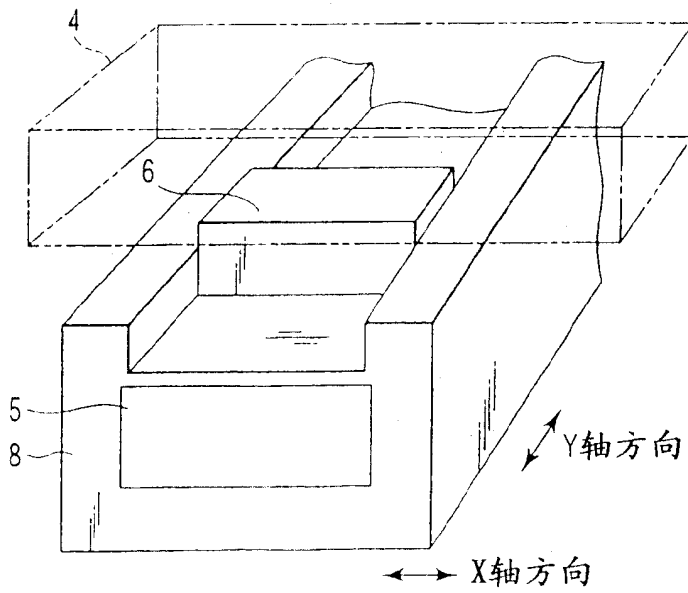


图 8

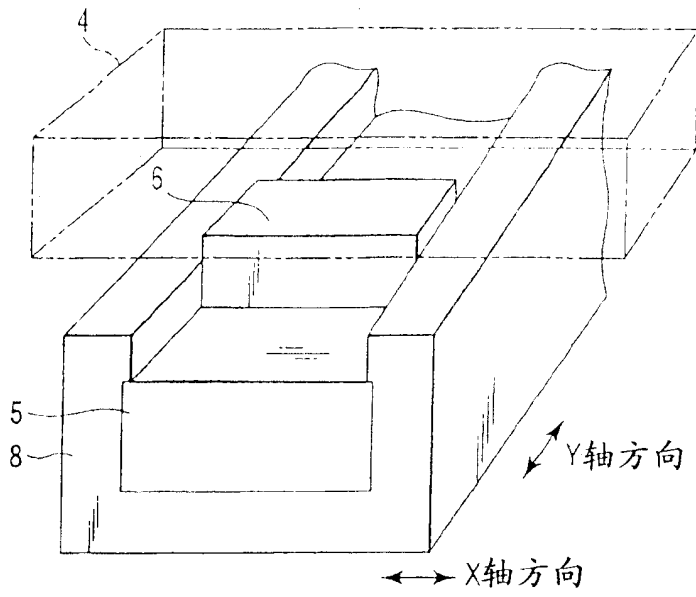


图9

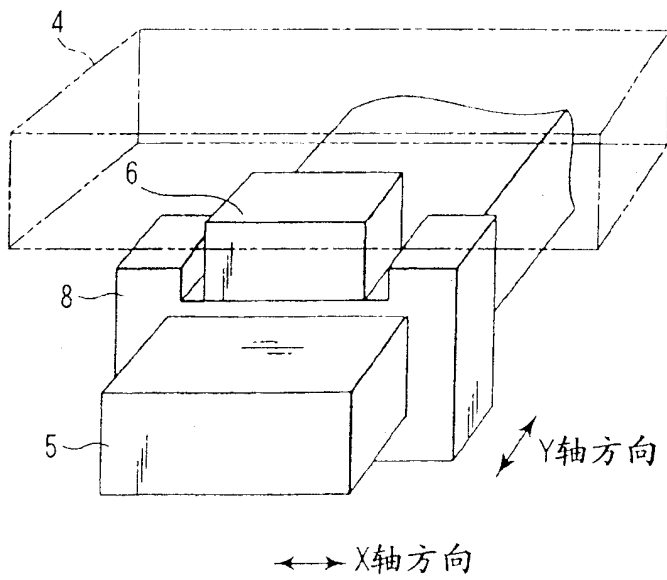


图10

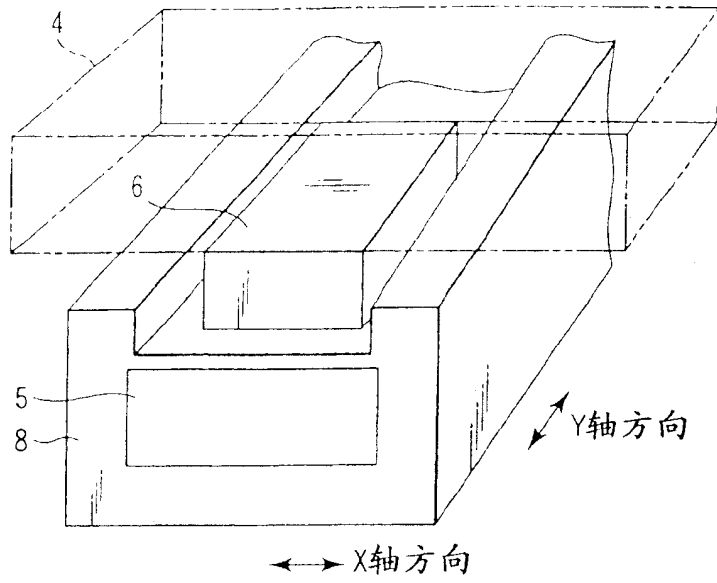


图11

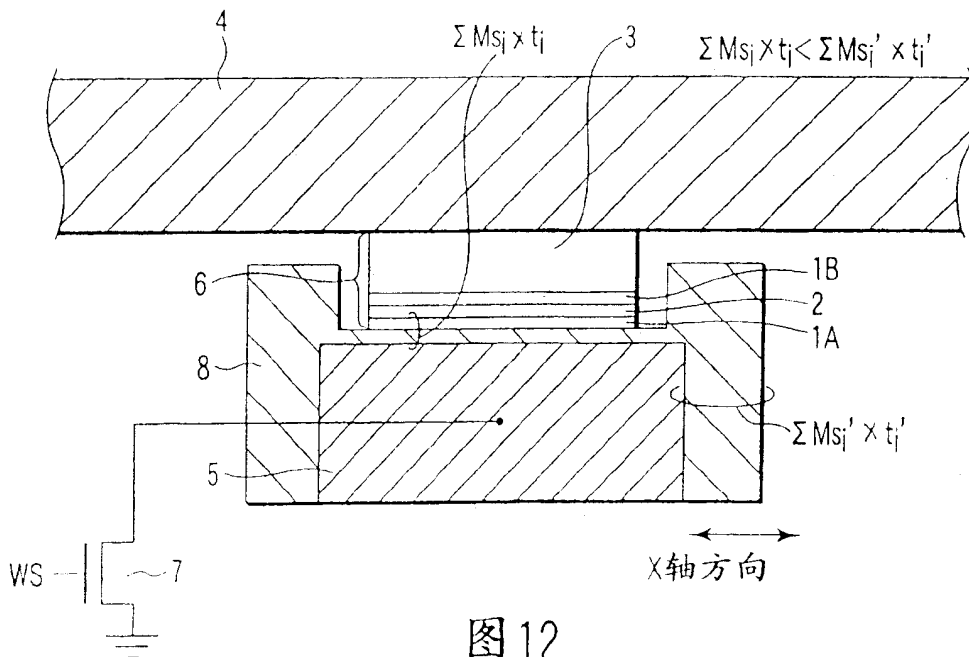


图12

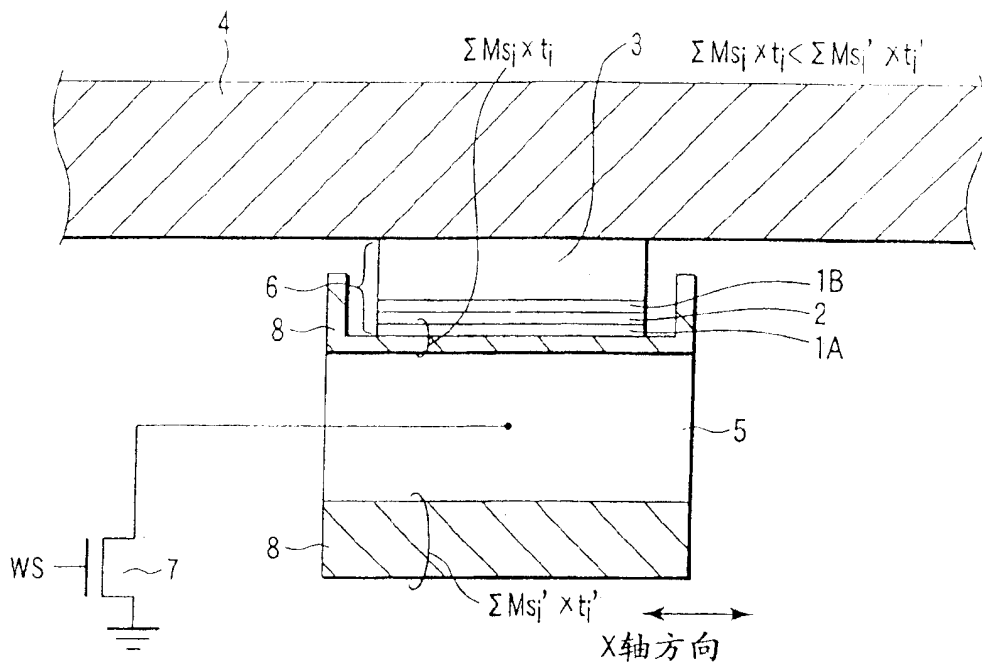


图 13

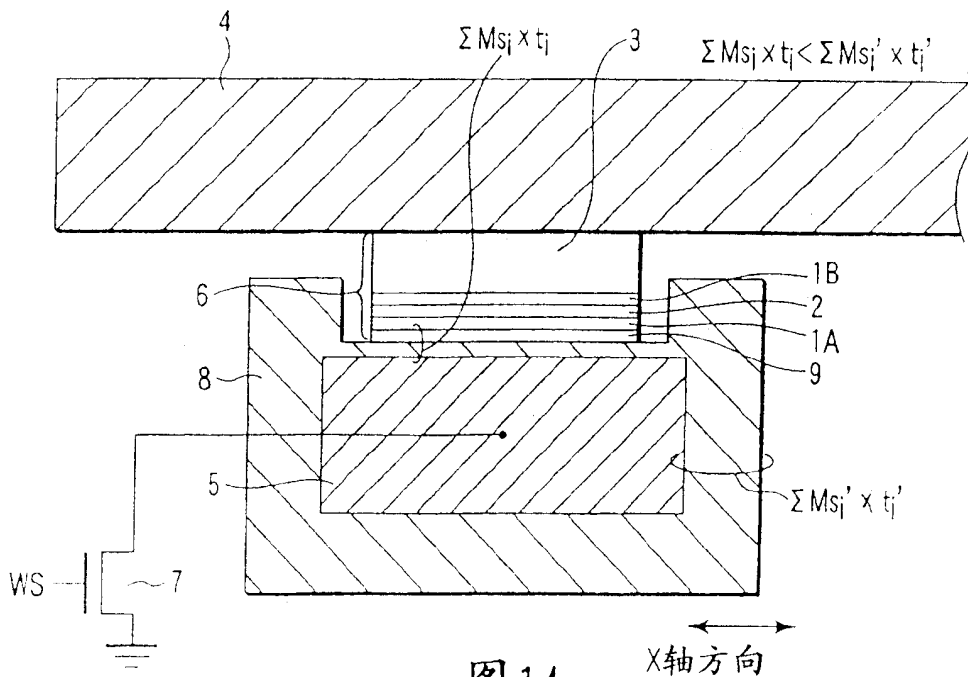


图 14

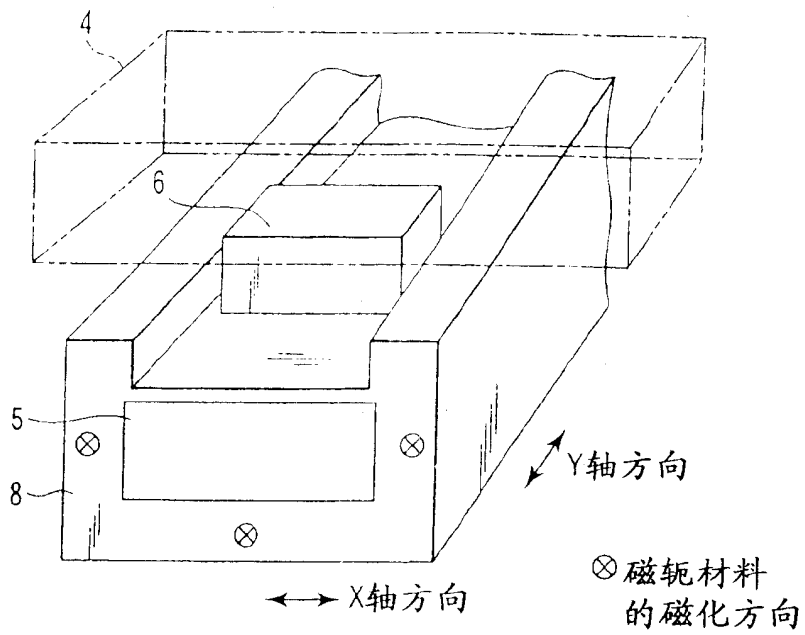


图 15

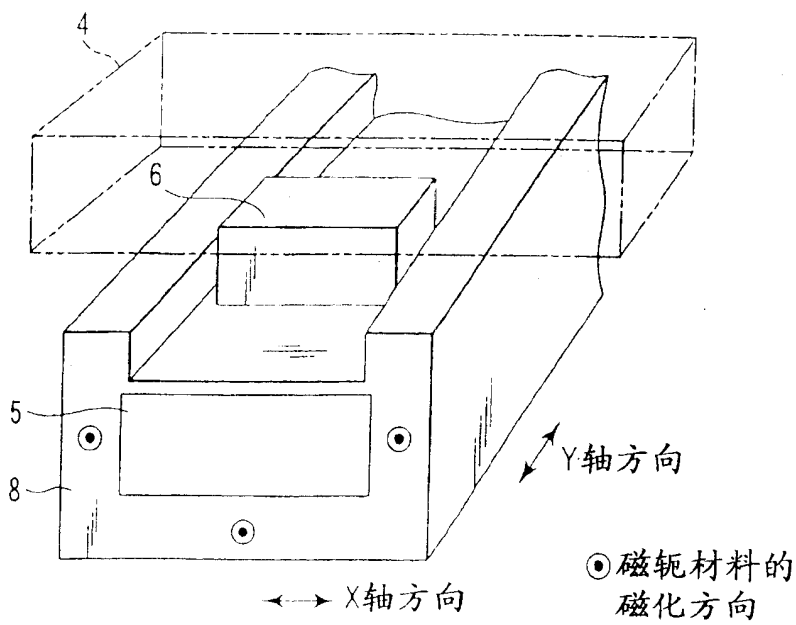


图 16

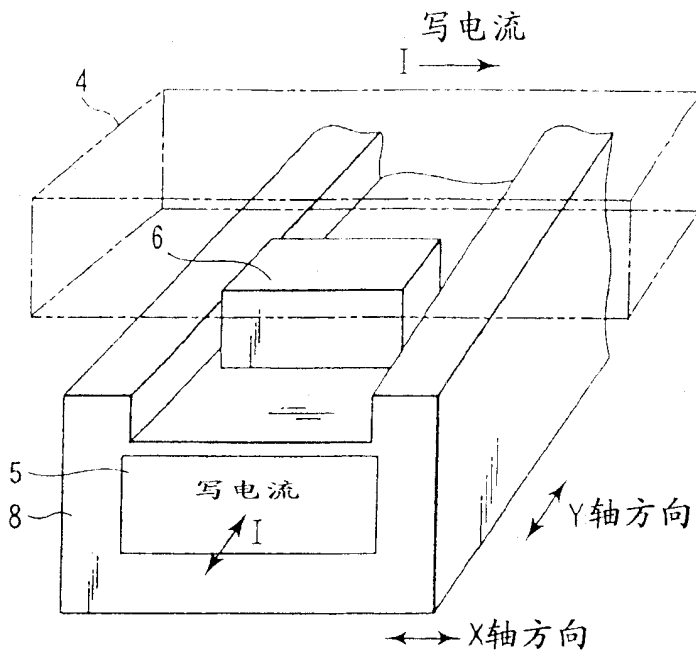


图 17

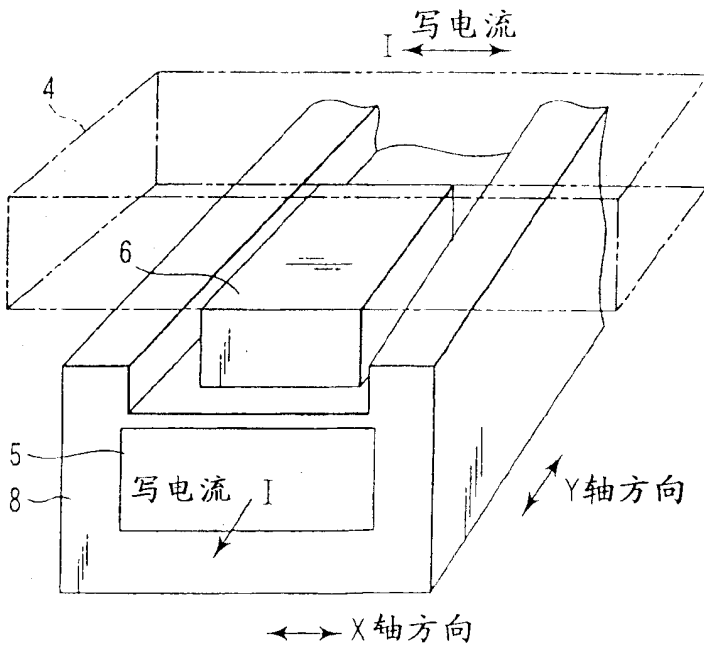


图 18

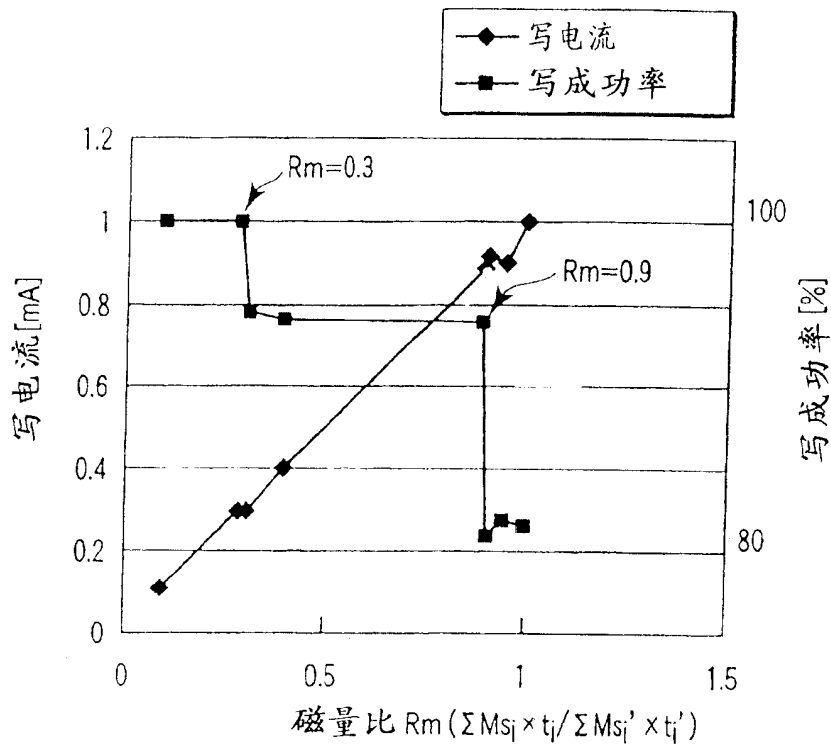


图19