

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G11C 11/15

G11B 5/39 H01L 43/08



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03108271.8

[43] 公开日 2003 年 12 月 24 日

[11] 公开号 CN 1463010A

[22] 申请日 2003.3.27 [21] 申请号 03108271.8

[30] 优先权

[32] 2002. 3. 27 [33] JP [31] 088827/2002

[71] 申请人 株式会社东芝

地址 日本东京都

[72] 发明人 西山勝哉 齐藤好昭 天野実

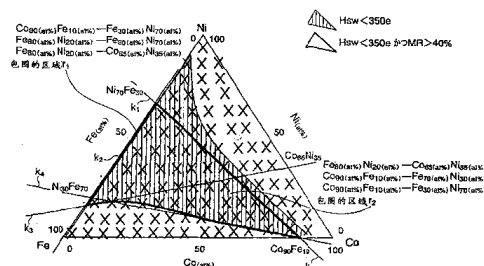
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所
代理人 王永刚

权利要求书 3 页 说明书 18 页 附图 13 页

[54] 发明名称 磁阻效应元件和具有该磁阻效应元件的磁存储器

[57] 摘要

能取得即使减小尺寸，也能实现 MR 比大、热稳定性优异、开关磁场小的磁阻效应元件和使用该磁阻效应元件的磁存储器。包含隔着非磁性层层叠多个铁磁性层的存储层、具有至少一层铁磁性层的磁性膜、设置在所述存储层和所述磁性膜之间的隧道势垒层；所述存储层的铁磁性层由 Ni - Fe - Co 三元合金构成；所述存储层和所述隧道势垒层的界面以及所述磁性膜和所述隧道势垒层的界面的最大粗糙度为 0.4nm 以下。



ISSN 1008-4274

1. 一种磁阻效应元件，其特征在于具备：隔着非磁性层层叠多个铁磁性层的存储层、具有至少一层铁磁性层的磁性膜和设置在所述存储层和所述磁性膜之间的隧道势垒层；所述存储层的铁磁性层由 Ni-Fe-Co 三元合金构成；在 Ni-Fe-Co 三元状态图中，具有由 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)}-\text{Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)}-\text{Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)}-\text{Co}_{65(\text{at}\%)}\text{Ni}_{35(\text{at}\%)}$ 的直线包围的内侧的组成区域和由 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)}-\text{Co}_{65(\text{at}\%)}\text{Ni}_{35(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)}-\text{Fe}_{70(\text{at}\%)}\text{Ni}_{30(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)}-\text{Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线包围的内侧的组成区域中的任意一方的组成区域中选择的组成；所述存储层和所述隧道势垒层的界面以及所述磁性膜和所述隧道势垒层的界面的最大表面粗糙度为 0.4nm 以下。

2. 根据权利要求 1 所述的磁阻效应元件，其特征在于：上述存储层具有以下的构造中的任意一方：依次层叠了第一铁磁性层、第一非磁性层、第二铁磁性层，所述第一和第二铁磁性层磁耦合的构造；依次层叠了第一铁磁性层、第一非磁性层、第二铁磁性层、第二非磁性层、第三铁磁性层，第一和第二铁磁性层磁耦合，第二和第三铁磁性层磁耦合的构造。

3. 根据权利要求 1 所述的磁阻效应元件，其特征在于：所述磁性膜设置在基底金属层上，所述基底金属层由 Ta、Pt、Ru 中的至少一种元素构成。

4. 根据权利要求 1 所述的磁阻效应元件，其特征在于：所述磁性膜具有用铁磁性层夹着非磁性层的构造，夹着所述非磁性层的铁磁性层反铁磁性地耦合。

5. 根据权利要求 1 所述的磁阻效应元件，其特征在于：所述存储层的所述铁磁性层的膜厚是 1nm~3nm。

6. 根据权利要求 1 所述的磁阻效应元件，其特征在于：所述磁性膜包含：邻接反铁磁性层而设置的，通过与该反铁磁性层的交换耦

合力而固定了磁化的具有铁磁性层的磁化固定层。

7. 根据权利要求 6 所述的磁阻效应元件，其特征在于：所述磁化固定层的铁磁性层由 Co-Fe 的二元合金构成。

8. 根据权利要求 6 所述的磁阻效应元件，其特征在于：所述反铁磁性层由 Pt_xMn_{1-x} ($49.5at\% \leq x \leq 50.5at\%$)、 Ni_yMn_{1-y} ($49.5at\% \leq y \leq 50.5at\%$)、 Ir_zMn_{1-z} ($22at\% \leq z \leq 27at\%$) 中的任意一种构成。

9. 一种磁存储器，其特征在于具备：

第一布线；

与所述第一布线交叉的第二布线；

设置在所述第一布线和所述第二布线的各交叉区域中的存储单元；

所述存储单元具有磁阻效应元件作为存储元件，该磁阻效应元件包含隔着非磁性层层叠多个铁磁性层的存储层、具有至少一层铁磁性层的磁性膜、设置在所述存储层和所述磁性膜之间的隧道势垒层；所述存储层的铁磁性层由 Ni-Fe-Co 三元合金构成；在 Ni-Fe-Co 三元状态图中，具有由 $Co_{90(at\%)}Fe_{10(at\%)}-Fe_{30(at\%)}Ni_{70(at\%)}$ 的直线、 $Fe_{80(at\%)}Ni_{20(at\%)}-Fe_{30(at\%)}Ni_{70(at\%)}$ 的直线、 $Fe_{80(at\%)}Ni_{20(at\%)}-Co_{65(at\%)}Ni_{35(at\%)}$ 的直线包围的内侧的组成区域和由 $Fe_{80(at\%)}Ni_{20(at\%)}-Co_{65(at\%)}Ni_{35(at\%)}$ 的直线、 $Co_{90(at\%)}Fe_{10(at\%)}-Fe_{70(at\%)}Ni_{30(at\%)}$ 的直线、 $Co_{90(at\%)}Fe_{10(at\%)}-Fe_{30(at\%)}Ni_{70(at\%)}$ 的直线包围的内侧的组成区域中的任意一方的组成区域中选择的组成；所述存储层和所述隧道势垒层的界面以及所述磁性膜和所述隧道势垒层的界面的最大表面粗糙度为 0.4nm 以下。

10. 根据权利要求 9 所述的磁存储器，其特征在于：所述第一和第二布线的至少一方至少在侧部具有由软磁性材料构成的覆盖层。

11. 一种磁存储器，具有：

第一布线；

形成在所述第一布线之上的第一磁阻效应元件；

形成在所述第一布线之下的第二磁阻效应元件；

形成在所述第一布线之上并且与所述第一布线交叉的第二布线；
形成在所述第一布线之下并且与所述第一布线交叉的第三布线；
所述第一和第二磁阻效应元件分别包含隔着非磁性层层叠多个铁磁性层的存储层、具有至少一层铁磁性层的磁性膜、设置在所述存储层和所述磁性膜之间的隧道势垒层；所述存储层的铁磁性层由 Ni-Fe-Co 三元合金构成；在 Ni-Fe-Co 三元状态图中，具有由 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)}-\text{Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)}-\text{Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)}-\text{Co}_{65(\text{at}\%)}\text{Ni}_{35(\text{at}\%)}$ 的直线包围的内侧的组成区域和由 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)}-\text{Co}_{65(\text{at}\%)}\text{Ni}_{35(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)}-\text{Fe}_{70(\text{at}\%)}\text{Ni}_{30(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)}-\text{Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线包围的内侧的组成区域中的任意一方的组成区域中选择的组成；所述存储层和所述隧道势垒层的界面以及所述磁性膜和所述隧道势垒层的界面的最大表面粗糙度为 0.4nm 以下；

通过一边使电流分别流向所述第二和第三布线，一边使电流流向所述第一布线，能分别使所述第一和第二磁阻效应元件的存储层的磁化向给定方向反转；

通过检测由所述第一布线使读出电流流向所述第一和第二磁阻效应元件而取得的来自所述第一和第二磁阻效应元件的输出信号的差分，读出双值信息的任意一个。

12. 根据权利要求 11 所述的磁存储器，其特征在于：所述第二和第三布线的至少一方至少在侧部具有由软磁性材料构成的覆盖层。

磁阻效应元件和具有该磁阻效应元件的磁存储器

技术领域

本发明涉及磁阻效应元件和具有该磁阻效应元件的磁存储器。

背景技术

使用了磁性体膜的磁阻效应元件被应用于磁头、磁传感器等中，但是也提出了用于固体磁存储器中。特别是作为能实现高速读写、大容量、低耗电的下一代固体磁存储器，对于利用了铁磁性体的磁阻效应的磁随机存取存储器（以下也称作 MRAM）的关心正不断高涨。

近年，提出了具有在两个磁性金属层之间插入了一层电介质的多层结构，使电流垂直于膜面流动，作为利用了隧道电流的磁阻效应元件的所谓“铁磁性隧道结元件（以下，也称作 TMR（隧道磁阻效应）元件”。在铁磁性隧道结元件中，因为取得了 20% 以上的磁阻变化率（MR 比）（参照 J. Appl. Phys. 79, 4724(1996)），所以对 MRAM 加以应用的可能性正在提高。

通过在铁磁性电极上形成 0.6nm~2.0nm 厚度的薄 Al(铝)层后，将该表面暴露在氧辉光放电或氧气中，形成由 Al₂O₃ 构成的隧道势垒层，能够实现该铁磁性隧道结元件。

另外，提出了具有以下构造的铁磁性一重隧道结：邻接构成该铁磁性一重隧道结的一方的铁磁性层设置反铁磁性层，通过交换耦合力，使所述一方的铁磁性层很难发生磁化反转，成为固定了磁化方向的磁化固定层（参照日本专利公开公报：特开平 10-4227 号）。

另外，还提出了通过分散在电介质中的磁性粒子形成的铁磁性隧道结和铁磁性二重隧道结（连续膜）（Phys. Rev. B56(10), R5747(1997), 应用磁学会杂志 23, 4-2, (1999), Appl. Phys. Lett. 73(19), 2829 (1998), Jpn. J. Appl. Phys. 39, L1035(2001)）。

在这些结构中，因为取得了 20~50%的磁阻变化率，以及为了取得所需的输出电压值，即使增加外加在铁磁性隧道结元件上的电压值，也能抑制磁阻变化率的减小，所以具有向 MRAM 应用的可能性。

当在 MRAM 中使用 TMR 元件时，夹着隧道势垒层的两个铁磁性层中，把一方固定为磁化方向不变的磁化固定层作为磁化基准层，把另一方的磁化方向容易反转的磁化自由层作为存储层。通过把基准层和存储层的磁化方向的平行状态和反平行状态与二进制信息的“0”和“1”产生对应关系，就能存储信息。

通过使电流流入设置在 TMR 元件附近的写入布线而产生的感应磁场，使存储层的磁化方向反转，进行记录信息的写入。而且，通过 TMR 效应检测电阻变化量来进行记录信息的读出。

为了固定基准层的磁化方向，使用了邻接铁磁性层设置反铁磁性层，通过交换耦合力，使磁化反转难以发生的方法，这样的构造被称作自旋阀型构造。在该构造中，通过一边外加磁场，一边进行热处理（磁化固定退火），确定了基准层的磁化方向。而通过提供磁各向异性，使容易磁化方向和基准层的磁化方向变得几乎相同，形成了存储层。

使用这些铁磁性一重隧道结或者铁磁性二重隧道结的磁存储元件具有非易失性，写入读出时间也快到 10 纳秒以下，改写次数也具有 10^{15} 以上的潜力。特别是，如上所述，使用了铁磁性二重隧道结的磁存储元件为了取得所需的输出电压值，即使增加外加在铁磁性隧道结元件上的电压值，也能抑制磁阻变化率的减小，所以取得了大的输出电压，表现了作为磁存储元件所希望的特性。

可是，关于存储器的单元尺寸，当使用了存储单元由一个晶体管和一个 TMR 元件构成的 1 晶体管-1TMR 结构（例如，参照 USP5, 734, 605 号公报）时，存在无法使尺寸减小到半导体的 DRAM（动态随机存取存储器）以下的问题。

为了解决该问题，提出了在位线和字线之间串联 TMR 元件和二极管的二极管型结构（参照美国专利登记 USP5, 640, 343 号公报），

或在位线和字线之间配置了 TMR 元件的单纯矩阵型结构（参照德国专利公报 DE 19744095，欧洲专利公报：WO 9914760）。

可是，如果进行大容量化，缩小 TMR 元件的尺寸，就会发生热起伏的问题，除了自旋信息有可能消失，伴随着 TMR 元件的尺寸的减小而产生的开关磁场的增大等也成为问题。

顽磁力即开关磁场依存于元件尺寸、形状、铁磁性材料的磁化、膜厚等，一般如果存储元件的尺寸减小，则开关磁场增大。这意味着当把具有隧道结的 TMR 元件作为存储元件用于 MRAM 时，在写入时需要大的电流磁场，耗电增大。当进一步考虑高集成化时，耗电增大变得更显著，是个大问题。

另外，由于基于热的 Mn 原子等的扩散的影响，还存在长期的热稳定性问题。

如上所述，为了实现磁存储器的超大容量化，需要即使减小 TMR 元件的尺寸，MR 比也增大，开关磁场减小，热稳定性优越的磁阻效应元件和使用它的磁存储器。

发明内容

本发明是根据对相关课题的认识而提出的，它提供即使减小铁磁性隧道结元件的尺寸，MR 比也增大，开关磁场减小，热稳定性优越的具有可靠性的磁阻效应元件和使用它的磁存储器。

本发明的第一形态的磁阻效应元件的特征在于：包含隔着非磁性层层叠多个铁磁性层的存储层、具有至少一层铁磁性层的磁性膜、设置在所述存储层和所述磁性膜之间的隧道势垒层；所述存储层的铁磁性层由 Ni-Fe-Co 三元合金构成；在 Ni-Fe-Co 三元状态图中，具有由 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)} - \text{Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)} - \text{Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)} - \text{Co}_{65(\text{at}\%)}\text{Ni}_{35(\text{at}\%)}$ 的直线包围的内侧的组成区域和由 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)} - \text{Co}_{65(\text{at}\%)}\text{Ni}_{35(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)} - \text{Fe}_{70(\text{at}\%)}\text{Ni}_{30(\text{at}\%)}$ 的直线、 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)} - \text{Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线包围的内侧的组成区域中的任意一方的组成区

域中选择的组成；所述存储层和所述隧道势垒层的界面以及所述磁性膜和所述隧道势垒层的界面的最大粗糙度为 0.4nm 以下。

本发明的第二形态的磁存储器具有第一布线、与所述第一布线交叉的第二布线、设置在所述第一布线和所述第二布线的各交叉区域中的存储单元；所述存储单元具有所述磁阻效应元件作为存储元件。

本发明的第三形态的磁存储器具有第一布线、形成在所述第一布线之上的第一磁阻效应元件、形成在所述第一布线之下的第二磁阻效应元件、形成在所述第一布线之上并且与所述第一布线交叉的第二布线、形成在所述第一布线之下并且与所述第一布线交叉的第三布线；所述第一和第二磁阻效应元件分别是所述的磁阻效应元件，通过一边使电流分别流向所述第二和第三布线，一边使电流流向所述第一布线，能分别使所述第一和第二磁阻效应元件的存储层的磁化向给定方向反转，通过检测由所述第一布线使读出电流流向所述第一和第二磁阻效应元件而取得的来自所述第一和第二磁阻效应元件的输出信号的差分，读出双值信息的任意一个。

如上所述，根据本发明，能取得即使减小尺寸，也能实现 MR 比大、热稳定性优异、开关磁场小的磁阻效应元件和使用该磁阻效应元件的磁存储器。

附图说明

下面简要说明附图。

图 1 是表示对本发明的实施例 1 的磁阻效应元件的存储层的组成使用了 Co-Fe-Ni 时的 MR 特性、开关磁场特性的 Co-Fe-Ni 三元状态图。

图 2 (a) 和图 2 (b) 是表示实施例 1 的磁阻效应元件结构的结构剖视图。

图 3 是表示实施例 1 和比较例 1 的开关磁场对于存储层或磁化固定层和隧道势垒层的界面的粗糙度（最大表面粗糙度）的特性的图。

图 4 是表示实施例 1 和比较例 2 的开关磁场对于存储层或磁化固

定层和隧道势垒层的界面的粗糙度（最大表面粗糙度）的特性的图。

图 5 (a) 和图 5 (b) 是表示实施例 1 和比较例 1、2 的磁阻效应元件的数据保持力的可靠性实验的结果的图。

图 6 (a) 和图 6 (b) 是表示实施例 1 的磁阻效应元件的存储层的结构的剖视图。

图 7 (a) ~图 7 (c) 是表示实施例 1 的磁阻效应元件的磁化固定层的结构的剖视图。

图 8 (a) ~图 8 (e) 是表示实施例 1 的磁阻效应元件的形状的图。

图 9 是表示实施例 2 的磁阻效应元件的结构的剖视图。

图 10 (a) 是表示实施例 3 的磁存储器中使用的单位存储单元的一个具体例的图，图 10 (b) 是表示在图 10 (a) 所示的切断线 A-A 切断时的剖视图。

图 11 (a) 是表示实施例 3 的磁存储器中使用的单位存储单元的一个具体例的图，图 11 (b) 是表示在图 11 (a) 所示的切断线 A-A 切断时的剖视图。

图 12 (a) 是表示实施例 3 的磁存储器中使用的单位存储单元的一个具体例的图，图 12 (b) 是表示在图 12 (a) 所示的切断线 A-A 切断时的剖视图。

图 13 (a) 是表示实施例 3 的磁存储器中使用的单位存储单元的一个具体例的图，图 13 (b) 是表示在图 13 (a) 所示的切断线 A-A 切断时的剖视图。

图 14 是表示实施例 3 的磁存储器的结构的第一具体例的图。

图 15 是表示实施例 3 的磁存储器的结构的第二具体例的图。

图 16 是表示实施例 3 的磁存储器的结构的第三具体例的图。

图 17 是表示实施例 3 的磁存储器的结构的第四具体例的图。

图 18 (a) 和图 18 (b) 分别是实施例 3 的磁存储器的第五具体例的主视图和侧视图。

图 19 (a) 和图 19 (b) 分别是实施例 3 的磁存储器的结构的第六具体例的主视图和侧视图。

图 20 (a) 和图 20 (b) 分别是实施例 3 的磁存储器的结构的第七具体例的主视图和侧视图。

具体实施方式

在说明本发明的实施例之前，先说明产生本发明的原委。

现在，当在 MRAM 中把 TMR 元件作为存储元件使用时，我们知道由于 TMR 元件的两端产生的磁极导致的反磁场的影响，开关磁场与短边长度的倒数成比例增大。铁磁性体的内部磁化在中央部附近，因为磁各向异性和交换相互作用的效果，沿着容易磁化方向，变为平行的状态是最稳定的。可是，在两端部产生磁极，静磁能量增大，所以牺牲伴随着磁极产生的能量的增大，但是如果减少静磁能量，就形成了具有与中央部不同的磁化方向的磁区（边缘区域）。该边缘区域使反转过程变复杂，使无磁场状态的残留磁化即成为输出的磁阻变化率下降。

因此，作为用于作为 MRAM 的 TMR 元件的存储层而使用的铁磁性体，选择本质上顽磁力小，同时即使在无磁场状态下也具有只能取得充分输出的大的 MR 比的材料对于实现高集成化的 MRAM 是重要的。

另外，在现行的 MRAM 中，作为存储层的磁性材料，报告有使用 Ni-Fe 类的例子（参照 IEEE International Solid-State Circuits Conference, Digest of Technical Papers, 2000, p.128., IEEE International Solid-State Circuits Conference, Digest of Technical Papers, 2000, p.130）。

如果着眼于上述的“顽磁力小”、“大的 MR 比（MR 变化率）”的条件，比较 Ni-Fe 类、Co-Fe 类，则 Co-Fe 类如果为 40% 以上，就表现了非常大的 MR 变化率，但是顽磁力大。而 Ni-Fe 类在 Ni 组成大的组成范围（几乎 80%at 以上）中，表现了非常小的顽磁力，但是 MR 变化率比 Co-Fe 类小。

顽磁力的大小即开关磁场的大小依存于磁性材料的种类、合金组

成，但是一般在 MR 变化率大的组成的 Co-Fe 类合金中，顽磁力变大。而 MR 变化率使用自旋极化率大的合金组成材料时更大。我们知道顽磁力的大小不仅是磁性材料的种类和合金组成，而且对于比磁性层更下层的层叠构造的材料和基于层叠的粗糙度的大小非常敏感。当粗糙度大时，在磁性层间产生磁结，结果顽磁力增大。因此，对存储层使用本质上顽磁力小的材料，并且选择粗糙度小的层叠构造以及基底材料也是重要的。

特别是对存储层使用了由铁磁性层和非磁性层构成的多层层叠构造时，当存储层和隧道势垒层的界面或磁化固定层和隧道势垒层的界面的粗糙度大时，存在开关磁场的大小极端增大的问题。可是，当使用了多层层叠构造的存储层时，如果减小粗糙度，则与使用单层膜时相比，存在把 MR 比保持在很大，并且能减小开关磁场的优点。

另外，通过使多层层叠构造的存储层的铁磁性层间产生层间耦合，即使减小单元尺寸，减小存储层的体积，也能取得热稳定性优异的特性。这时，减小粗糙度的膜构造的总体设计成为必要。

如上所述，在作为现行的存储层而使用的磁性材料中，不能同时满足“顽磁力小”、“具有大的 MR 变化率”、“热稳定性好”等的三个条件。

因此，本发明者考虑了把同时满足这三个条件的磁性材料、构造作为存储层，并且通过选择粗糙度小的层叠构造和基底材料，取得了低耗电并且高输出的 TMR 元件以及使用该 TMR 元件的磁存储器。

下面，参照附图说明本发明的基本概念和实施例。

一般，在 TMR 元件的存储层中使用的是快速追随外部磁场而容易改变磁化方向的所谓的软磁性材料，但是作为软磁性材料应该具备的主要点有：(a) 起始导磁率和最大导磁率等的导磁率大；(b) 残留磁化和饱和磁化大；(c) 顽磁力小等。这里，磁性材料的磁各向异性引起磁致伸缩时起始导磁率与磁致伸缩常数的倒数成比例，顽磁力与磁致伸缩常数成比例，所以可以说磁致伸缩常数越小，越是适合于 TMR 元件的材料。作为 TMR 元件的存储层而使用的磁性材料除了这

些条件,为了取得高输出,还有必要表现大的磁阻变化率,但是这些能通过隔着隧道势垒层配置自旋极化率大的材料、磁迁移温度(居里温度)高的材料或使用Fe的组成大的材料实现。

TMR元件包含:具有多层隧道势垒层的图2(a)所示的铁磁性多重隧道结(在附图中是二重结)和只具有一层隧道势垒层的图2(b)所示的铁磁性一重隧道结。即铁磁性一重隧道结是在基底金属层2上依次设置了反铁磁性层4、磁化固定层6(也称作钉扎层)、隧道势垒层8、磁化自由层10(也称作存储层)、覆盖层/硬掩模层18的结构。另外,铁磁性二重隧道结是在基底金属层2上依次设置了反铁磁性层4、磁化固定层6、隧道势垒层8、磁化自由层10、隧道势垒层12、磁化固定层14、反铁磁性层16、覆盖层/硬掩模层18的结构。

(实施例1)

为了发现这样的TMR元件的MR比尽可能增大并且开关磁场尽可能减小的存储层的结构,进行了以下的实验。首先,本实施例的TMR元件是尺寸为 $0.15 \times 0.2 \mu\text{m}^2$ 的铁磁性二重隧道结型。而且,存储层是用铁磁性层夹着由Ru构成的非磁性层的三层构造,为Co-Fe-Ni的三元合金。构成该存储层的铁磁性层的膜厚为2nm。作为磁化固定层,为了取得大MR比,使用了Co-Fe合金,特别是使用了 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 。反铁磁性层使用IrMn合金。隧道势垒层使用 AlOx 。另外,基底金属层是Ta/Ru的二层构造。因此,本实施例的TMR元件的构造成成为Ta/Ru/IrMn/CoFe/Ru/CoFe/ AlOx /CoFeNi/Ru/CoFeNi/ AlOx /CoFe/Ru/CoFe/IrMn/Ru/上部布线。

首先,制作改变了构成存储层的铁磁性层的Co-Fe-Ni的三元合金的组成时的TMR元件,图1表示了调查MR比和开关磁场的结果。构成存储层的铁磁性层的组成在图1中用×表示。图1的细竖线所示的区域是在制作所述TMR元件时,开关磁场变为350e以下的区域。另外,图1所示的 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)} - \text{Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线以下的区域是在室温下MR比取得40%以上的区域。

根据该实验结果,可知在TMR元件中,存储层的铁磁性层由

Ni-Fe-Co 三元合金构成，在 Ni-Fe-Co 三元状态图中，最好具有从 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)}\text{-Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线 k1、 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)}\text{-Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线 k2、 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)}\text{-Co}_{65(\text{at}\%)}\text{Ni}_{35(\text{at}\%)}$ 的直线 k3 包围的内侧的组成区域 r1 或 $\text{Fe}_{80(\text{at}\%)}\text{Ni}_{20(\text{at}\%)}\text{-Co}_{65(\text{at}\%)}\text{Ni}_{35(\text{at}\%)}$ 的直线 k3、 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)}\text{-Fe}_{70(\text{at}\%)}\text{Ni}_{30(\text{at}\%)}$ 的直线 k4、 $\text{Co}_{90(\text{at}\%)}\text{Fe}_{10(\text{at}\%)}\text{-Fe}_{30(\text{at}\%)}\text{Ni}_{70(\text{at}\%)}$ 的直线 k5 包围的内侧的组成区域中的任意一方的组成区域中选择的组成。

须指出的是，如果在磁化固定层中使用 Co-Fe，就取得了 40% 以上的 MR 比，所以很好。在本实施例中，虽然使用了 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 作为磁化固定层，但是使用 $\text{Co}_{10}\text{Fe}_{90}\text{-Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 的材料也不会影响 MR 特性的倾向。

接着，为了调查存储层和隧道势垒层的界面或磁化固定层和隧道势垒层粗糙度对开关磁场的影响，制作了使靠近本实施例的 TMR 元件的基底金属层 2 的反铁磁性层 4 的膜厚从 8nm~14nm，以 2nm 的间隔变化的 TMR 元件。须指出的是，离基底金属层 2 远的反铁磁性层 16 的膜厚为 8nm。因此，调查粗糙度的影响时使用的 TMR 元件的结构如下所示。

$\text{Ta/Ru/IrMn(xnm)/CoFe/Ru/CoFe/AlOx/CoFeNi/Ru/CoFeNi/AlOx/CoFe/Ru/CoFe/IrMn(8nm)/Ru/}$ 上部布线。

另外，为了比较，制作以下结构的比较例 1 和比较例 2 的 TMR 元件，制作离基底金属层 2 远的反铁磁性层 16 的膜厚为 8nm，并且靠近基底金属层 2 的反铁磁性层 4 的膜厚从 8nm~14nm，以 2nm 的间隔变化的样品，调查粗糙度的影响。

比较例 1： $\text{Ta/Al/Ru/IrMn(xnm)/CoFe/Ru/CoFe/AlOx/CoFeNi/Ru/CoFeNi/AlOx/CoFe/Ru/CoFe/IrMn(8nm)/Ru/}$ 上部布线；

比较例 2： $\text{Ta/Ru/IrMn(xnm)/CoFe/Ru/CoFe/AlOx/CoFeNi/AlOx/CoFe/Ru/CoFe/IrMn(8nm)/Ru/}$ 上部布线；

即比较例 1 是把本实施例的 TMR 元件的基底金属层 2 的结构从 Ta/Ru 置换为 Ta/Al/Ru 的结构，本实施例的 TMR 元件具有三层构造

的存储层，而比较例 2 具有单层构造的存储层，并且 TMR 元件的基底金属层 2 的结构由与本实施例相同的 Ta/Ru 构成。

当使 InMn 构成的反铁磁性层的膜厚变化时，用透射型电子显微镜（以下也称作 TEM）观测了截面，知道了存储层或磁化固定层和隧道势垒层的界面的粗糙度（最大表面粗糙度）很大地依存于基底金属层。在本实施例和比较例 2 中，因为基底金属层 2 为相同的结构，所以当反铁磁性层的膜厚相同时，粗糙度几乎相同。可是，比较例 1 与本实施例不同，因为对基底金属层使用了 Ta/Al/Ru，所以与具有由 Ta/Ru 构成的基底金属层的本实施例的 TMR 元件相比，观测到粗糙度大。

图 3 表示了开关磁场 H_{sw} 对于本实施例和比较例 1 的 TMR 元件的存储层或磁化固定层和隧道势垒层的界面的粗糙度（最大表面粗糙度）的各自的依存性，图 4 表示了开关磁场 H_{sw} 对于本实施例和比较例 2 的 TMR 元件的存储层或磁化固定层和隧道势垒层的界面的粗糙度（最大表面粗糙度）的各自的依存性。须指出的是，在图 3 和图 4 中， d 表示靠近基底金属层的反铁磁性层的膜厚。从图 3 可知，本实施例和比较例 1 中，存储层是相同的多层构造，并且靠近基底金属层的反铁磁性层为相同的膜厚，存储层或磁化固定层和隧道势垒层的界面的粗糙度还是对基底金属层使用 Ta/Al/Ru 的比较例 1 的 TMR 元件大，开关磁场 H_{sw} 也大。另外，从图 4 可知，如果减小存储层或磁化固定层和隧道势垒层的界面的粗糙度，则存储层为三层构造的本实施例与存储层为单层构造的比较例 2 相比，取得了更小的开关磁场。因此，当存储层为多层构造时，如果存储层或磁化固定层和隧道势垒层的界面的粗糙度为 0.4nm 以下，则与存储层为单层构造时相比，能减小开关磁场。

接着，进行了把本实施例、比较例 1、比较例 2 的 TMR 元件分别放置在 85℃ 的烤炉中的数据保持力（数据输出保持时间）的可靠性试验。图 5(a)、(b) 表示它的结果。存储层为单层构造的比较例 2 的 TMR 元件时，当存储层和靠近隧道势垒层的磁化固定层的铁磁性层的

自旋方向为反平行状态时，保持了数据（参照图 5（b）），但是平行时，观测到未保持数据的位（参照图 5（a））。可是，本实施例和比较例 1 的 TMR 元件都取得了希望的可靠性（参照图 5（a）、（b）），如果对存储层使用三层构造，就得到具有可靠性的元件。

如上所述，根据本实施例的 TMR 元件，不但保持开关磁场小，而且能取得 MR 变化率大、热稳定性优异的特性。

在本实施例中，如图 6（a）所示，存储层是用铁磁性层夹着非磁性层的三层构造，但是如图 6（b）所示，可以具有由铁磁性层 a/非磁性层/铁磁性层 b/非磁性层/铁磁性层 a 构成的构造。即可以是铁磁性层隔着非磁性层而进行层间耦合的构造。而且，如果该耦合强度为 $H_{ex}=3kOe$ 以下，则既可以是铁磁性的，也可以是反铁磁性的。另外，在图 6（b）所示的结构中，实现了铁磁性层 b 具有比铁磁性层 a 的膜薄并且用非磁性层分隔的构造，即所谓的伴随着铁磁性层 a 的反磁场减小电位势垒的功能。作为 TMR 元件的存储层，如果使用图 6（b）所示的构造，则比图 6（a）所示的构造更能取得小开关磁场。例如由 Co-Fe-Ni 构成铁磁性层 a，由 Ni-Fe 构成铁磁性层 b，由 Ru 构成非磁性层，如果代替本实施例的三层层叠构造的存储层，使用由 Co-Fe-Ni/Ru/Ni-Fe/Ru/Co-Fe-Ni 构成的 5 层层叠构造的存储层，能把开关磁场进一步降低 10%~20%。

另外，在本实施例中，存储层的铁磁性层的膜厚为 2nm，但是希望是 1nm~3nm。如果在 1nm 以下，则铁磁性层变为超常磁性，无法保证铁磁性自旋的热稳定性。另外，如果变为 3nm 以上，则开关磁场增大，用于开关的电流脉冲的绝对值增大，产生了 EM（电子迁移）的问题。

另外，在本实施例中，使用了 Co-Fe 二元合金铁磁性层作为磁化固定层，但是当对磁化固定层使用 Co-Fe 二元合金铁磁性层时，比使用 Co-Fe-Ni、Ni-Fe、Co-Ni 时能取得更大的 MR 比。

另外，在本实施例的 TMR 元件中，如图 7（a）所示，磁化固定层是铁磁性层/非磁性层/铁磁性层的三层构造，希望使用靠近隧道势垒

层的铁磁性层的膜厚更厚的结构。如果采用该构造，则能取消来自磁化固定层的杂散磁场 (stray field)，所以不但保持了热稳定性，而且 MR 曲线的磁滞曲线对于 0 磁场能调整为对称。

杂散磁场 H_{stray} 与 TMR 元件的长边的长度 L 成反比 ($H_{\text{stray}}=C/L$)。这里， C 是常数。因此，按照 TMR 元件的长边的长度，能唯一地确定靠近隧道势垒层的铁磁性层的厚度应该为多厚。

另外，在本实施例的 TMR 元件中，磁化固定层的至少与隧道势垒层相邻的铁磁性层具有铁磁性层/非晶形磁性层/铁磁性层的三层构造，例如如图 7(b) 所示，希望使用磁化固定层为铁磁性层/非晶形磁性层/铁磁性层/非磁性层/铁磁性层的层叠构造，或者如图 7(c) 所示，使用铁磁性层/非晶形磁性层/铁磁性层/非磁性层/非晶形磁性层/铁磁性层的层叠构造。须指出的是，非晶形磁性层希望是非晶形铁磁性层。如果使用所述的构造，则即使使用 Pt-Mn、Ir-Mn、Ni-Mn 等时，也能抑制 Mn 的扩散，能维持长期的稳定性，能提高具有可靠性的 TMR 元件。

须指出的是，非晶形磁性层能通过 Co、Fe、Ni 或它们的合金中混合数%到数十%的 Zr、Nb、Bi、Ta、W 等而制作。

作为在三层或多层构造的存储层或磁化固定层中使用的非磁性层希望使用 Ru(钌)、Ir(铱)、Os(锇)或它们的合金。

另外，在本实施例的 TMR 元件中，邻接磁化固定层而设置的反铁磁性层由 $\text{Pt}_x\text{Mn}_{1-x}$ 、 $\text{Ni}_y\text{Mn}_{1-y}$ 、 $\text{Ir}_z\text{Mn}_{1-z}$ 中的任意一种构成，这里， $49.5\text{at}\% \leq x$ 、 $y \leq 50.5\text{at}\%$ ， $22\text{at}\% \leq z \leq 27\text{at}\%$ ，反铁磁性层的膜厚为 10nm 以下，更希望为 9nm 以下。据此，当用 TEM 观测了磁化固定层和隧道势垒层的界面或隧道势垒层和存储层的界面的粗糙度时，能使峰到峰值即最大表面粗糙度为 0.4nm 以下，甚至能达到 0.3 nm 以下。

另外，作为抑制粗糙度的方法，如果使用 Ta 或 W 作为设置在反铁磁性层之下的基底金属层的电极材料，使用 Ru、Ir、Pt 作为势垒层，则邻接磁化固定层的表面粗糙度(最大表面粗糙度)能在 0.2nm~0.4nm 以下。

另外，作为 TMR 元件的隧道势垒层，能使用 Al_2O_3 (氧化铝)、 SiO_2 (氧化硅)、 MgO (氧化镁)、 AlN (氮化铝)、 Bi_2O_3 (氧化铋)、 MgF_2 (氟化镁)、 CaF_2 (氟化钙)、 SrTiO_2 (氧化钛锶)、 AlLaO_3 (氧化镧铝)、 Al-N-O (氧化氮化铝)、 GaO (氧化镓)等的各种绝缘体(电介质)。

这些化合物从化学计算上来看，没必要是完全正确的组成，可以存在氧、氮、氟等的缺损或过分与不足。另外，该绝缘层(电介质层)的厚度希望薄到隧道电流能流过的程度，实际上希望在 10nm 以下。

使用各种溅射法、蒸镀法、分子束外延生长法等通常的薄膜形成方法，在给定的衬底上形成这样的 TMR 元件。作为这时的衬底，例如能使用 Si (硅)、 SiO_2 (氧化硅)、 Al_2O_3 (氧化铝)、尖晶石、 AlN (氮化铝)等各种的衬底。

另外，作为 TMR 元件的形状，磁化方向 M1、M2 没必要一定是直线状。如图 8(a)~图 8(e) 所示，可以形成各种边缘区域。图 8(a)~图 8(e) 是表示本实施例的 TMR 元件的存储层的平面形态的其他具体例的模式图。即 TMR 元件的存储层如图 8(a) 所示，例如可以是在长方形的一方的对角附加了突出部的形状，也可以是如图 8(b) 所示的平行四边形，也可以是如图 8(c) 所示的菱形、也可以是如图 8(d) 所示的椭圆形、也可以是如图 8(e) 所示的边缘倾斜型的各种形状。

这里，当把存储层构图为图 8(a)~(c) 和图 8(e) 所示的形状时，实际上角部常常变圆，但是角部也可以这样变圆。通过在光刻中使用的原版的图案形状为非对称形状，就能容易地制作这些非对称形状。

(实施例 2)

接着，图 9 表示了本发明的实施例 2 的 TMR 元件的结构。本实施例的 TMR 元件是在基底金属层上依次形成了磁化自由层、隧道势垒层、存储层、保护层/硬掩模的结构。也可以是基底金属层/存储层/隧道势垒层/磁化自由层/保护层/硬掩模。即是在图 2(b) 所示的实施例 1 的 TMR 元件中，代替反铁磁性层和磁化固定层(钉扎层)，设

置了磁化自由层的结构。

而且，在本实施例的 TMR 元件中，存储层与图 6 所示的实施例 1 时同样，成为隔着非磁性层层叠了多层铁磁性层的结构。另外，结构为：使存储层和隧道势垒层的界面的粗糙度（最大表面粗糙度）为 0.4nm 以下。磁化自由层至少包含一个铁磁性层。

另外，基底金属层成为与实施例 1 同样的结构。

该实施例 2 的 TMR 元件也与实施例 1 同样，不但保持了开关磁场小，而且能取得 MR 变化率大，热稳定性优异的特性。

（实施例 3）

下面，参照附图，说明本发明的实施例 3 的磁存储器。须指出的是，在实施例 3 中，作为磁存储器的存储元件，使用了所述实施例 1 和实施例 2 中说明了的 TMR 元件。

图 10 (a) ~图 13 (b) 是单纯表示当使用 TMR 元件作为存储元件，使用 MOS 晶体管作为单元选择元件时的本实施例的磁存储器的单位单元的剖视图。图 10 (a) 表示 TMR 元件的一端连接着位线 BL，另一端通过引出电极、连接栓塞连接着选择晶体管的源极和漏极的一方，写入字线 WL 设置在 TMR 元件的下方的结构的单位单元。图 10 (b) 表示在图 10 (a) 所示的切断线 A-A 切断的剖视图。图 11 (a) 表示 TMR 元件的一端连接着字线 WL，另一端通过引出电极、连接栓塞连接着选择晶体管的源极和漏极的一方，写入位线 BL 设置在 TMR 元件的上方的结构的单位单元。图 11 (b) 表示在图 11 (a) 所示的切断线 A-A 切断的剖视图。图 12 (a) 表示在图 10 (a) 所示的单位单元中，通过磁性体覆盖位线 BL 和字线 WL 的结构的单位单元，图 13 (a) 表示在图 11 (a) 所示的单位单元中，通过磁性体覆盖位线 BL 和字线 WL 的结构的单位单元。须指出的是，图 12 (b) 和图 13 (b) 分别表示在图 12 (a) 和图 13 (a) 所示的切断线 A-A 切断的剖视图。

在具有图 10 (a) ~图 13 (b) 的任意一个单位单元的磁存储器中，读出是使电流流入由晶体管选择的 TMR 元件，通过 TMR 元件的电阻

是大还是小，判断“1”、“0”。对于 TMR 元件的信息的写入是通过使电流脉冲流过设置在其上下的字线 WL 和位线 BL 而产生的磁场进行的。例如，如果分别使电流流过位线 BL 和字线 WL，则在它们周围产生磁场。通过合成这些电流磁场，能使 TMR 元件的存储层的磁化反转。

在写入时，为了使磁化反转到给定的方向，可以使给定方向的电流适当流过位线 BL 和字线 WL 双方。如果这样，则与只使电流流过位线 BL 和字线 WL 的任意一个而产生磁化的反转时相比，不但能降低各布线的电流量，而且能进行单元选择。作为结果，能提供布线的疲劳小、可靠性高的磁存储器。如图 12 和图 13 所示，如果用磁性体覆盖位线 BL 和字线 WL，则能把伴随着电流的磁场效率提高 2 倍（图 11）以上~5 倍（图 12）以上，能实现更低的耗电。

图 14 是表示本实施例的磁存储器的第一具体例的结构模式图。即图 14 表示了存储器阵列的截面构造，在该结构中，多个 TMR 元件 C 并联在读出/写入用位线 BL 上。在各 TMR 元件 C 的另一端，通过二极管 D，连接着读出/写入用字线 WL。另外，成为各字线 WL 通过选择各字线 WL 的选择晶体管 STw 连接在读出放大器 SA 的结构。另外，成为读出/写入用位线 BL 通过用于选择该位线 BL 的选择晶体管 STB 接地的结构。

在图 14 所示的第一具体例的磁存储器中，在读出时，通过选择晶体管 STB、STw 分别选择连接着目标 TMR 元件 C 的位线 BL 和字线 WL，通过读出放大器 SA 检测电流。另外，在写入时，通过选择晶体管 STB、STw 分别选择连接着目标 TMR 元件 C 的位线 BL 和字线 WL，使写入电流流过。这时，通过合成了在位线 BL 和字线 WL 中分别发生的磁场的写入磁场使 TMR 元件 C 的存储层的磁化向着给定的方向，能进行写入。

二极管 D 在这些读出或写入时，具有遮断通过布线为矩阵状的其他 TMR 元件 C 流动的迂回电流的功能。

下面，参照图 15，说明本实施例的磁存储器的结构的第二具体例。

图 15 是表示能层叠存储器阵列的结构的具体例的模式图。即图 15 表示存储器阵列的截面构造。

在该结构中，采用了在读出/写入用位线 BLw 和读出用位线 BLr 之间并联了多个 TMR 元件 C 的“梯子型”的结构。接近各 TMR 元件 C，写入字线 WL 在与位线 BLw 交叉的方向布线。

能通过把写入电流流入读出/写入用位线 BLw 而产生的磁场和写入电流流入写入字线 WL 而产生的磁场的合成磁场作用于 TMR 元件的存储层来进行向 TMR 元件的写入。

而在读出时，在位线 BLw 和位线 BLr 之间外加电压。这样，电流流入并联在它们之间的所有 TMR 元件中。一边通过读出放大器 SA 检测该电流的合计，一边向接近目标 TMR 元件的字线 WL 外加写入电流，把目标 TMR 元件的存储层的磁化改写到给定方向。通过检测这时的电流变化，就能进行目标 TMR 的读出。

即如果改写前的存储层的磁化方向与改写后的磁化方向同一，则通过读出放大器 SA 检测的电流不变化。可是，在改写前后，当存储层的磁化方向反转时，则通过读出放大器 SA 检测的电流根据磁阻效应而变化。这样，就能读出改写前的存储层的磁化方向即存储的数据。可是，该方法与读出时改变存储数据的所谓“破坏读出”对应。

而当 TMR 元件的结构采用了实施例 2 中说明的磁化自由层/隧道势垒层/磁存储层的构造时，能进行“非破坏读出”。即当使用该构造的 TMR 元件时，在存储层中记录磁化方向，当读出时，通过适当使磁化自由层的磁化方向变化，比较读出电流，能读出存储层的磁化方向。可是，这时，有必要设计为磁化自由层的磁化反转磁场比存储层的磁化反转磁场还小。

图 16 是表示本实施例的磁存储器的结构的具体例的模式图。即图 16 表示存储器阵列的截面构造。

在该结构中，多个 TMR 元件 C 并联在读出/写入用位线 BLw 上，在这些 TMR 元件 C 的另一端，分别把读出用位线 BLr 连接为矩阵状。接近这些读出用位线 BLr，进行了写入用字线 WL 的布线。

能通过把写入电流流入读出/写入用位线 BL_w 而产生的磁场和写入电流流入写入字线 WL 而产生的磁场的合成磁场作用于 TMR 元件的存储层来进行向 TMR 元件 C 的写入。

而当读出时，通过由选择晶体管 ST 选择写入用位线 BL_w 和读出用位线 BL_r，使读出电流流入目标 TMR 元件，可以通过读出放大器 SA 检测。

下面，参照图 17 说明本实施例的磁存储器的结构的第四具体例。

图 17 是表示本实施例的磁存储器的结构的第四具体例的模式图。即图 17 表示存储器阵列的截面构造。不同之处在于：读出用位线 BL_r 通过导线连接着 TMR 元件 C，在 TMR 元件 C 的正下方对写入字线 WL 进行了布线。如果这样，就能使 TMR 元件 C 和写入字线 WL 比图 16 的构造更接近。作为结果，能更有效地使来自字线 WL 的磁场作用于 TMR 元件。

下面，说明差动放大型、多值型结构。

图 18 (a)、(b) 和图 19 (a)、(b) 分别表示本实施例的磁存储器的差动放大型、多值型结构图。18 (a) 和图 18 (b) 分别表示本实施例的磁存储器的差动放大型结构的主视图和侧视图，19 (a) 和图 19 (b) 分别表示本实施例的磁存储器的多值型结构的主视图和侧视图。

在各类型的磁存储器中，位线 BL、字线 WL₁、WL₂ 以及读出用布线 RL₁、RL₂ 配置为交叉，在位线 BL 和字线 WL₁、WL₂ 的交叉部设置有 TMR 元件 TMR₁、TMR₂。这样，通过在纵向层叠 TMR 单元，即使为差动放大、多值存储器，也能避免增大单元面积。

在图 18 (a)、(b) 中，再读出时，从位线 BL 流出电流，通过设置在读出用布线 RL₁、RL₂ 的结束端的读出放大器进行差动放大。另外，当改变了 TMR 元件 TMR₁、TMR₂ 的信号输出时，该结构能实现多值化。须指出的是，在图 18 (a)、(b) 中，如后面将详细描述的那样，关于位线 BL、字线 WL₁、WL₂ 和 TMR 元件 C₁、C₂ 的连接关系，能采用各种具体例。例如，可以设置写入用和读出用的两条位线，连接 TMR 元件。另外，有时字线 WL 连接 TMR 元件 C₁、

C2, 有时不连接。

TMR 元件 C1、C2 具有存储层。在该存储层中, 具有对于磁化固定层彼此为近反平行的磁化方向 M1、M2, 对于磁阻效应元件的磁化固定层的磁化方向, 反平行、平行地写入自旋信息, 使从位线 BL 流出的读出电流流入所述 TMR 元件, 通过进行差动放大, 判断“1”、“0”。须指出的是, TMR 元件 C1 是铁磁性一重隧道结, TMR 元件 C2 是铁磁性二重隧道结。

另外, 当进行多值记录时, 对于磁阻效应元件的磁化固定层的磁化方向, 反平行、平行地写入自旋信息, 使从位线 BL 流出的读出电流流入所述 TMR 元件, 通过进行差动放大, 检测多值信息。

图 18 (b) 表示了使用本实施例的差动放大型结构时的写入方法和 TMR 元件的旋转的方向。当为差动放大型时, 希望 TMR 元件的容易轴形成在字线 WL 的长轴方向。如果 TMR 元件的容易轴形成在字线 WL 的长轴方向, 则位线 BL 的电流脉冲外加在上下的 TMR 元件上的磁场方向产生近 180 度的差异, 所以能对上下的 TMR 元件一次进行写入, 从而能进行高速写入。

图 19 (b) 表示了本实施例的多值记录型结构时的写入方法和实际的 TMR 单元的旋转方向。当为多值记录型结构时, 因为需要在上下的 TMR 元件中任意记录信息, 所以希望 TMR 元件的容易轴形成在位线 BL 的长轴方向。如果 TMR 元件的容易轴形成在位线 BL 的长轴方向, 则通过字线 WL1、WL2, 能在上下的 TMR 元件中进行任意信息的记录, 多值记录成为可能。

须指出的是, 图 14~图 17 所示的结构除了能层叠为多层, 实现大容量化, 还能使用所述的差动型、多值型结构或层叠它们的结构。这时, 如图 20 (a)、(b) 所示, 希望公用位线 BL。希望在公用的位线 BL 中, 在位线 BL 的侧壁使用磁性覆盖布线。

如上所述, 根据实施例 3 的磁存储器, 因为使用了 MR 比大、热稳定性优异、开关磁场小的实施例 1 或 2 的 TMR 元件作为存储元件, 所以能实现高集成化和低耗电化。

图1

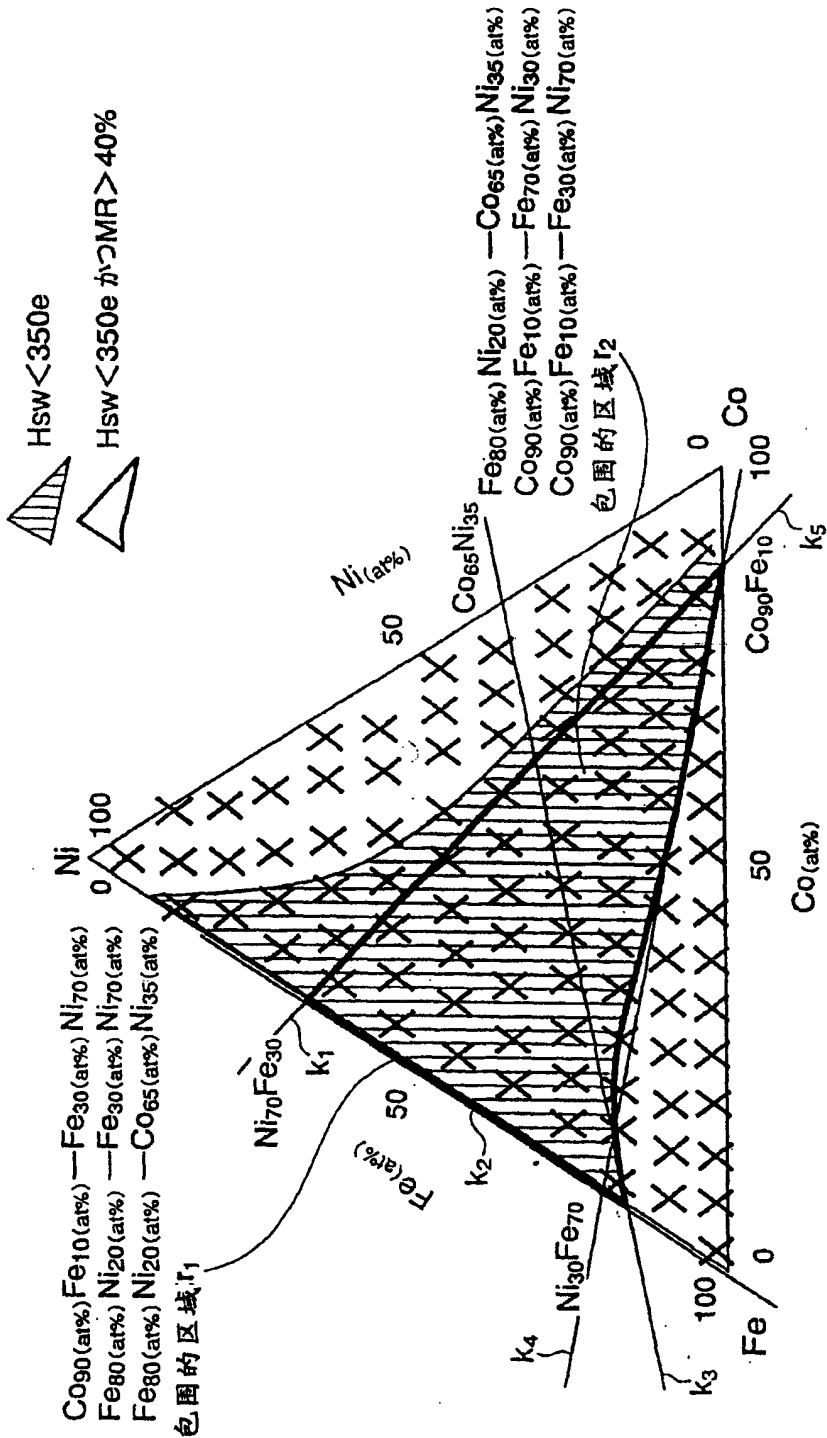


图2

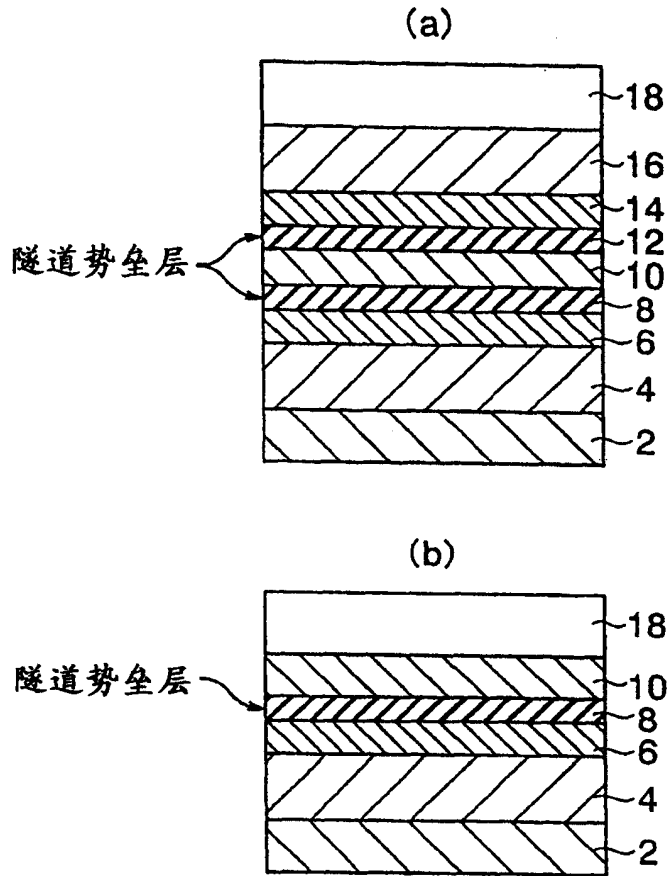


图3

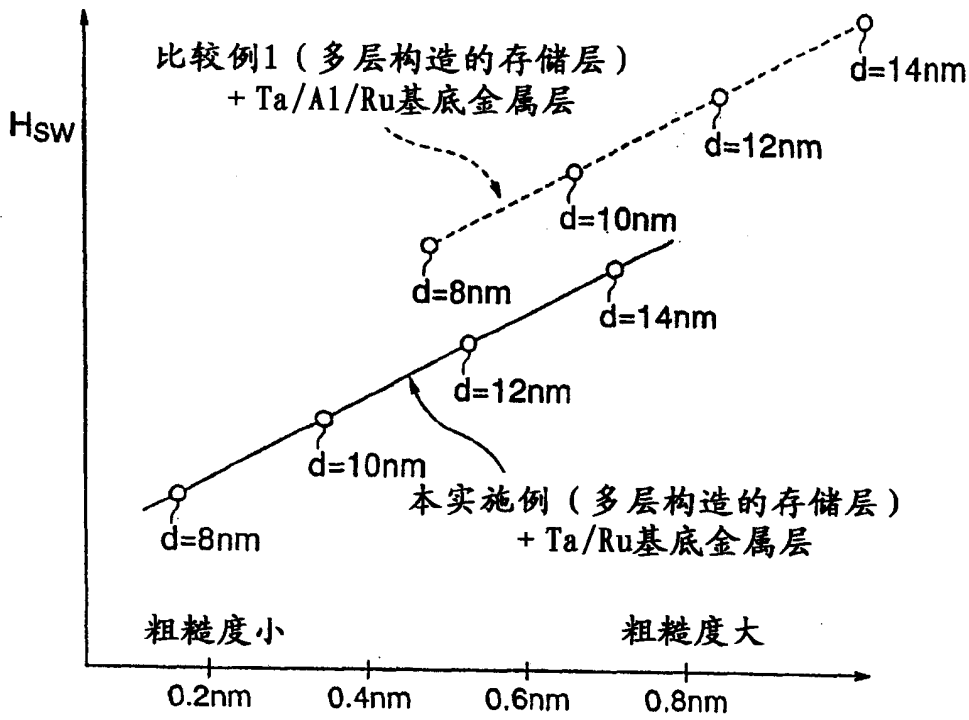


图4

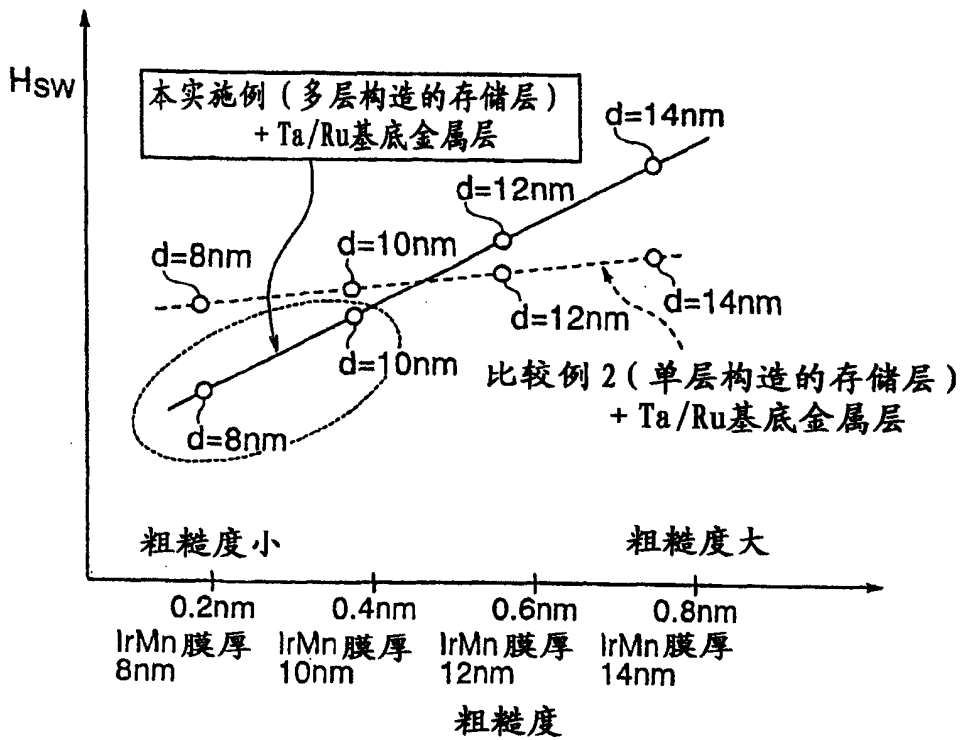


图5

输出保持时间

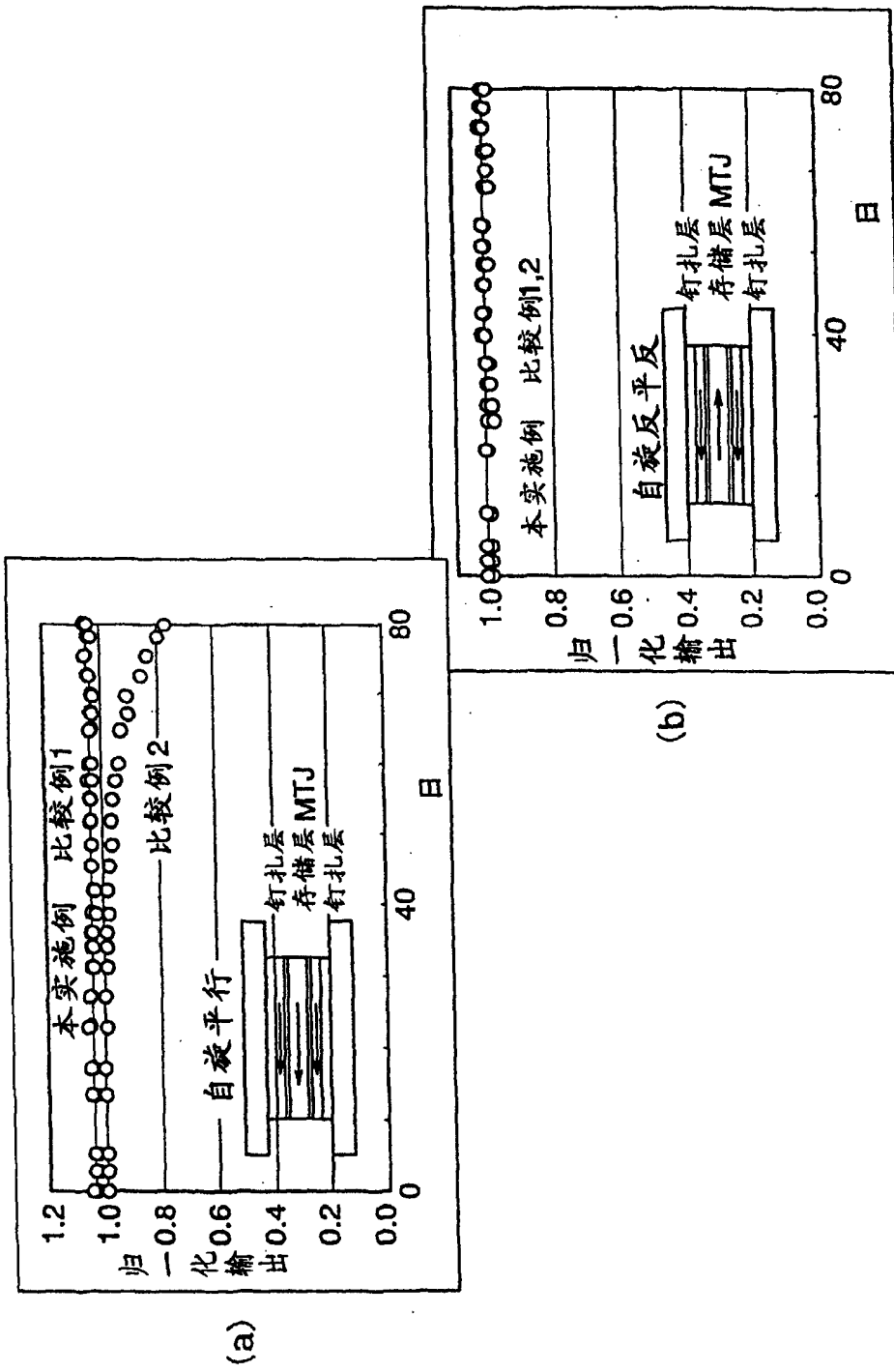


图6

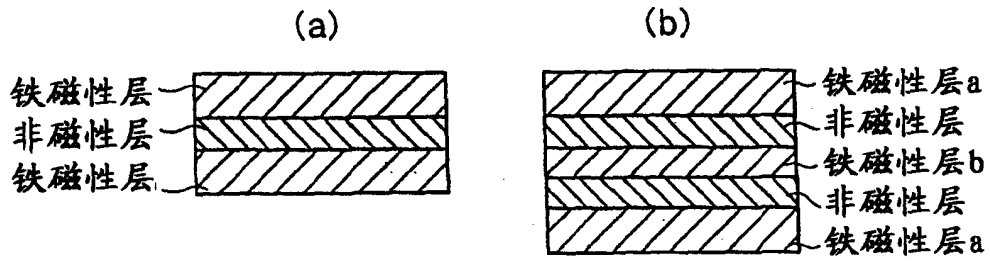
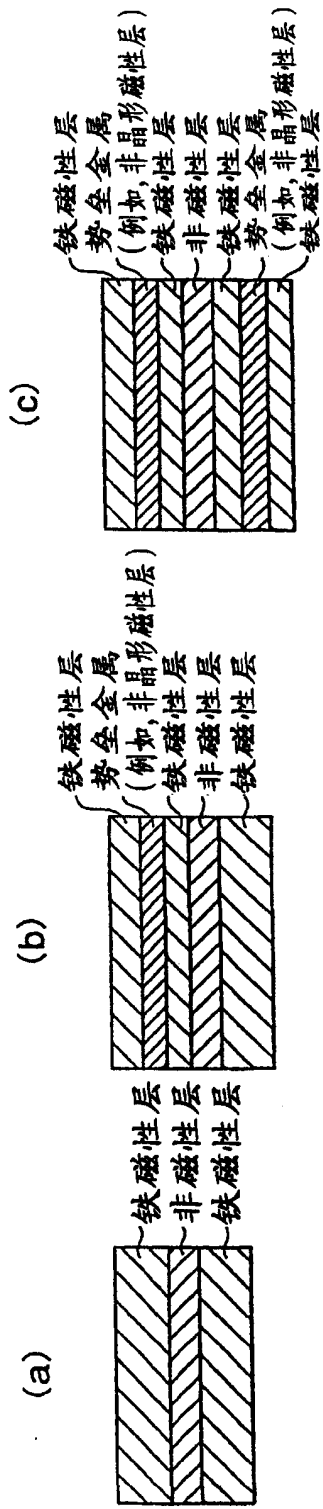


图7



使靠近隧道势垒层的铁磁性层厚，或插入势垒金属

图8

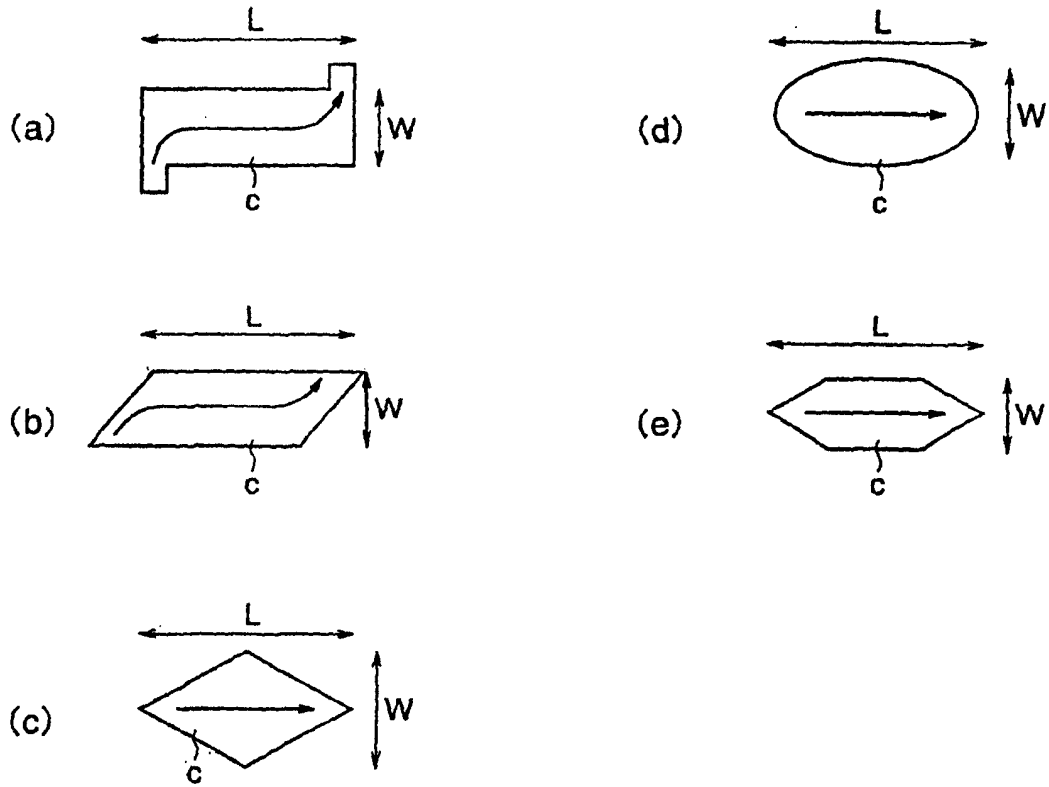


图9

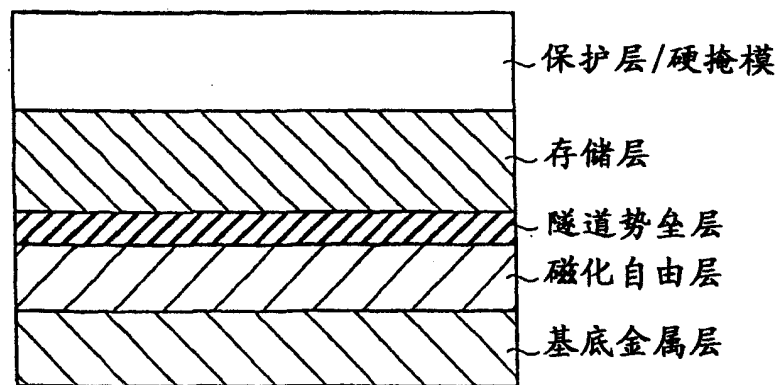


图 10

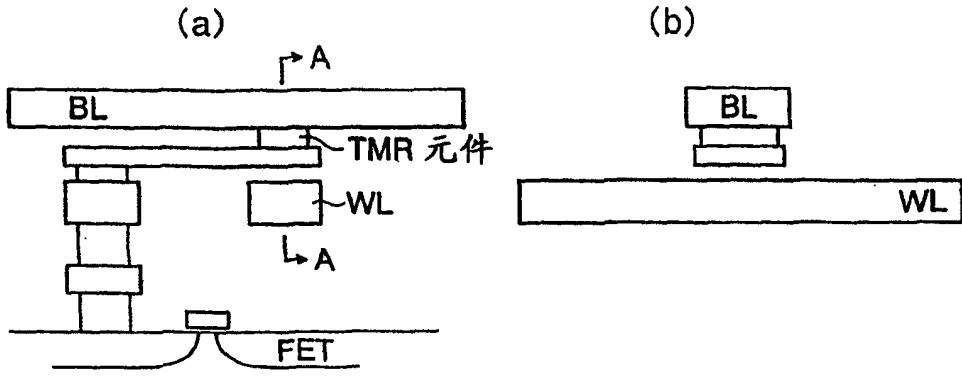


图 11

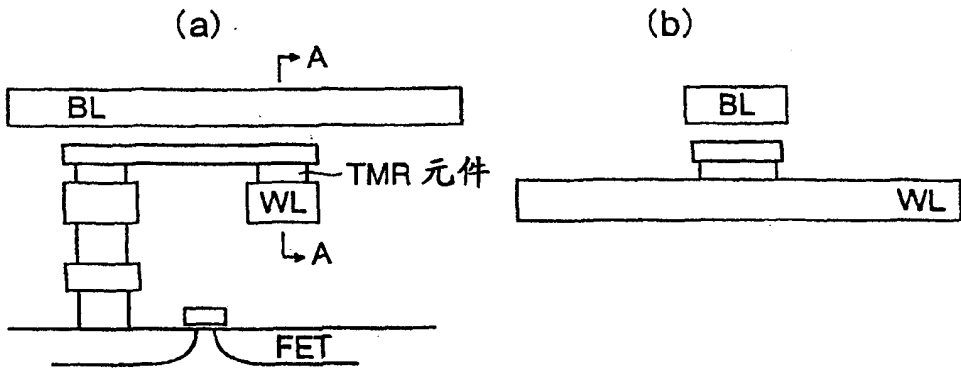


图 12

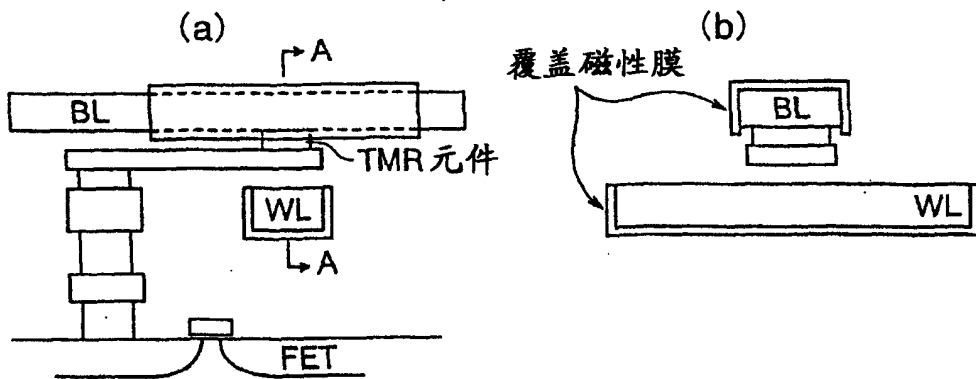


图13

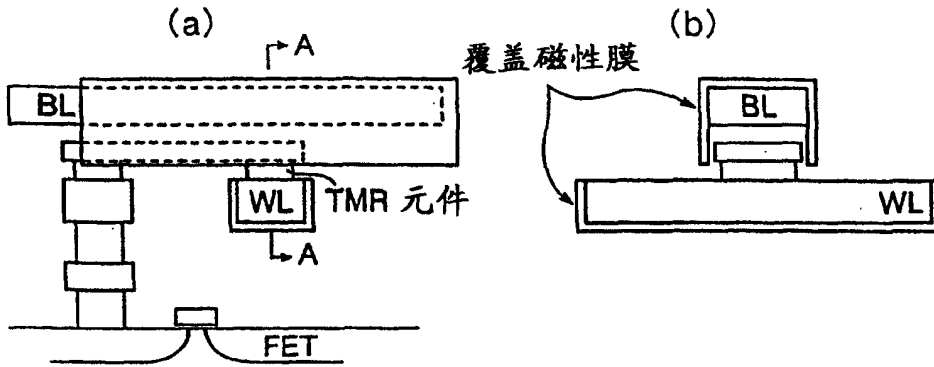


图14

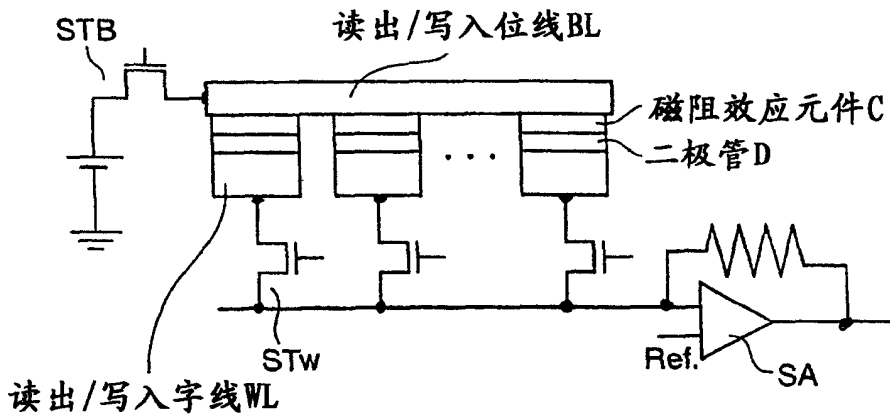


图15

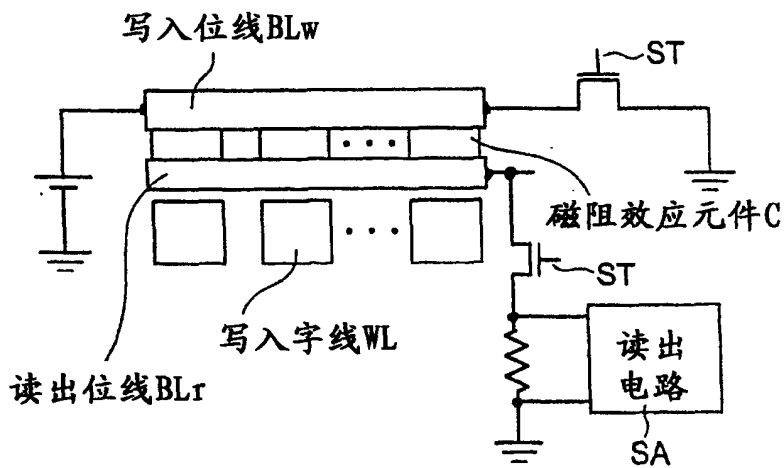


图 16

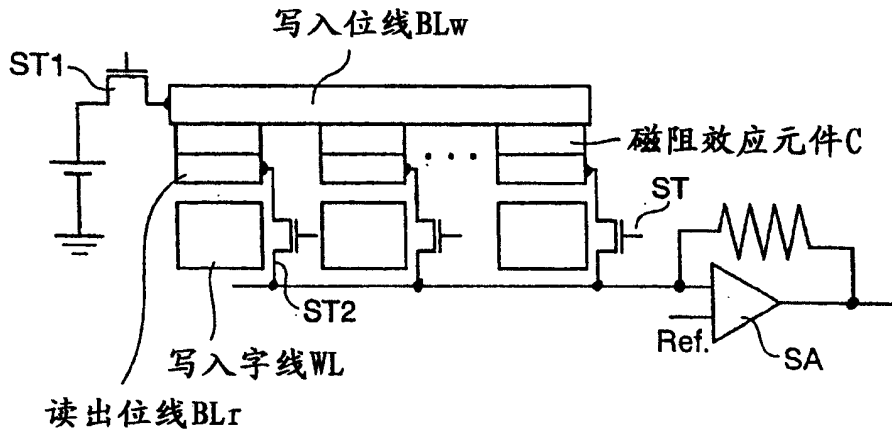


图 17

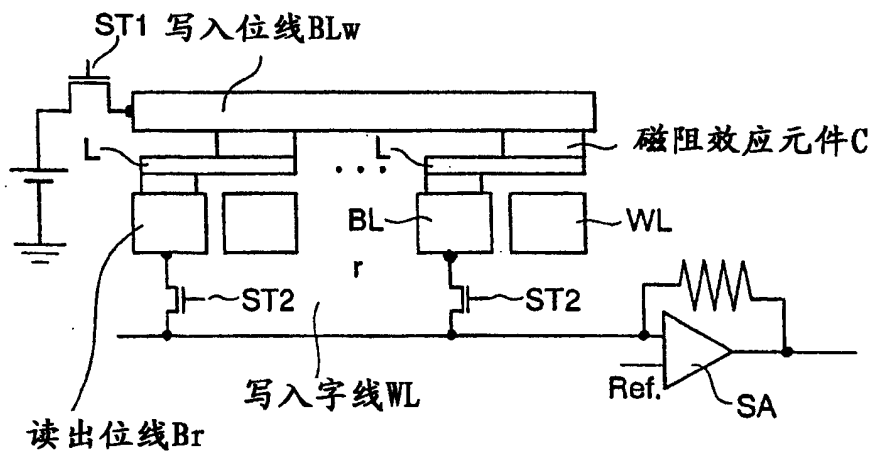


图18

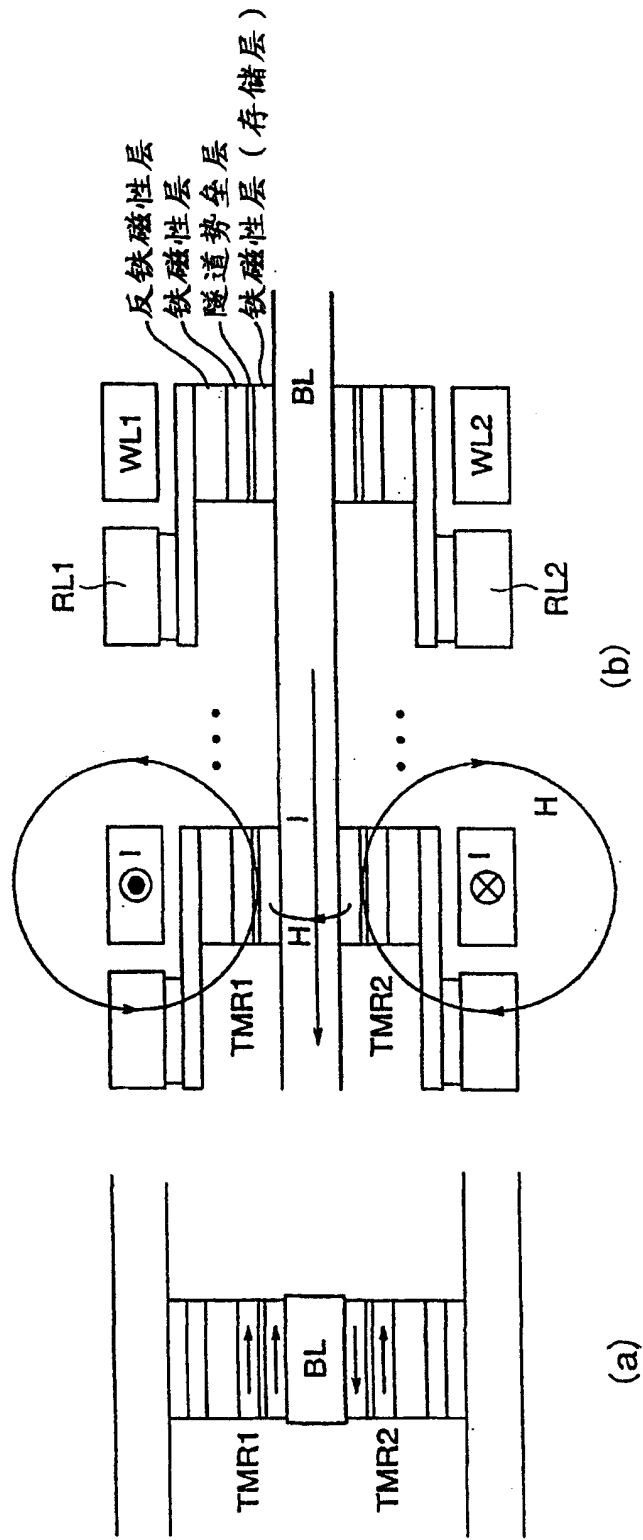


图19

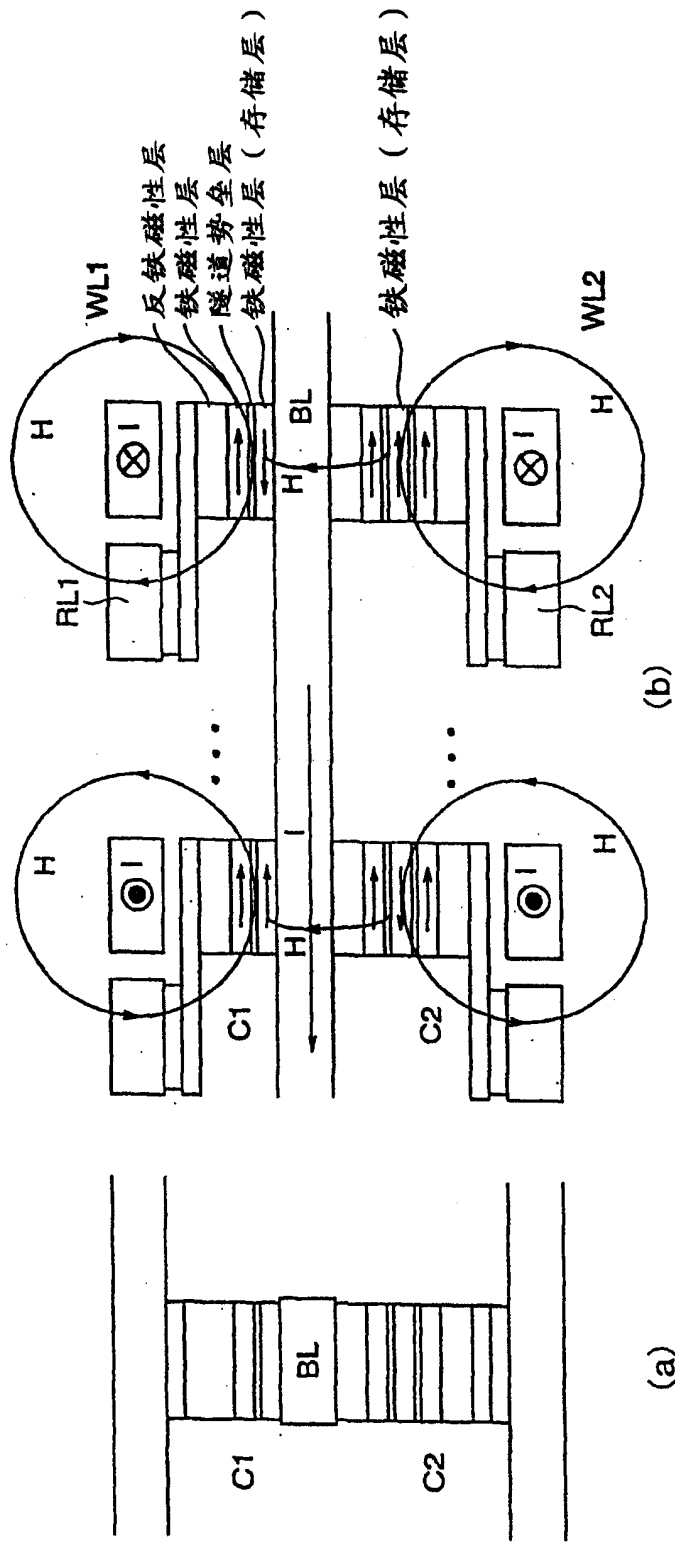


图 20

