

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G11C 11/15

H01L 43/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03156828.9

[43] 公开日 2004年5月12日

[11] 公开号 CN 1495793A

[22] 申请日 2003.9.10 [21] 申请号 03156828.9

[30] 优先权

[32] 2002.9.10 [33] JP [31] 264215/2002

[71] 申请人 株式会社东芝

地址 日本东京都

[72] 发明人 福住嘉晃

[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

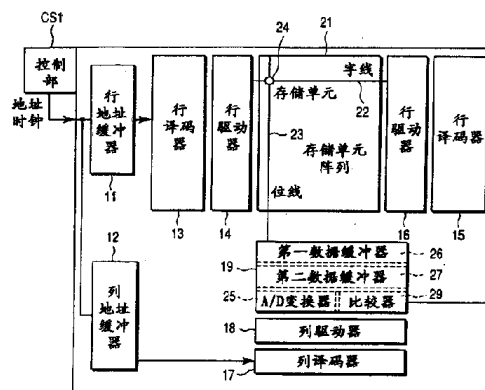
代理人 付建军

权利要求书6页 说明书20页 附图4页

[54] 发明名称 磁随机存取存储器

[57] 摘要

提供一种磁随机存取存储器(MRAM)。其中,该MRAM的MTJ元件(35),具有夹着隧道阻挡薄膜(36)配置的记录层(37)和参照层(38)、在记录层(37)中存储数据。为了有选择地对磁电阻元件(35)赋予磁场配设有电流驱动线(56)。记录层(37)具备第一强磁性层的同时参照层(38)具备第二强磁性层;对于由电流驱动线(56)赋予上述磁电阻元件(35)的磁场,保持上述第二强磁性层的磁化方向的保持力设定为小于保持上述第一强磁性层的磁化方向的保持力。



ISSN 1008-4274

1.一种磁随机存取存储器，包括：

在配置成为矩阵形状 of 每个地址配设存储单元而成的存储单元阵列，该存储单元具有夹着隧道阻挡薄膜配置的记录层和参照层，且在上述记录层上存储数据的磁电阻元件作为存储元件；

与上述存储单元阵列的各行相连接的字线；

与上述存储单元阵列的各列相连接的位线；

用来选择上述字线的行译码器；以及

用来选择上述位线的列译码器；

在读出存储于上述存储单元阵列内的选择存储单元的记录层中的存储数据时，在利用上述字线及上述位线中的至少一方将在不破坏上述存储数据情况下可以改变上述选择存储单元的参照层的磁化方向的读出用的磁场施加于上述磁电阻元件的同时，进行读出操作，判断上述存储数据的值。

2.如权利要求1所述的存储器，其中：

在读出上述存储数据时，在通过不施加上述读出用的磁场进行读出，而检出上述选择存储单元的电学特性的基本值的同时，通过边施加上述读出用的磁场边进行读出，检出上述选择存储单元的电学特性的参照值，并通过对上述基本值和上述参照值进行比较，判断上述存储数据的值。

3.一种磁随机存取存储器，包括：

具有夹着隧道阻挡薄膜配置的记录层和参照层、在上述记录层上存储数据的磁电阻元件，以及

有选择地对上述磁电阻元件赋予磁场的电流驱动线；

在上述记录层具备第一强磁性层的同时，上述参照层具备第二强磁性层；对于由上述电流驱动线赋予上述磁电阻元件的磁场，保持上述第二强磁性层的磁化方向的保持力设定为小于保持上述第一强磁性层的磁化方向的保持力。

4.如权利要求3所述的存储器，其中作为用来使上述第二强磁性层的磁化方向反转所必需的流过上述电流驱动线的电流的绝对值的最小值的第二电流值，比作为用来使上述第一强磁性层的磁化方向反转所必需的流过上述电流驱动线的电流的绝对值的最小值的第一电流值小。

5.如权利要求3所述的存储器，其中上述第一强磁性层的长轴方向和上述第二强磁性层的长轴方向互相正交。

6.如权利要求3所述的存储器，其中上述第一及第二强磁性层的易磁化轴方向与上述电流驱动线延伸方向正交。

7.如权利要求3所述的存储器，其中表示上述第二强磁性层的长轴长/短轴长的比值小于表示上述第一强磁性层的长轴长/短轴长的比值。

8.如权利要求3所述的存储器，其中上述第一强磁性层的易磁化轴方向和上述第二强磁性层的易磁化轴方向正交，并且与上述电流驱动线的延伸方向平行。

9.如权利要求3所述的存储器，其中在读出存储于上述磁电阻元件中的存储数据时，利用上述电流驱动线，将在不改变上述第一强磁性层磁化方向的情况下可以改变上述第二强磁性层的磁化方向的读出用磁场赋予上述磁电阻元件，同时进行读出操作，判断上述存储数据的值。

10.如权利要求9所述的存储器，其中在读出上述存储数据时，在通过不施加上述读出用的磁场进行读出而检出上述磁电阻元件的电学特性的基本值的同时，通过施加上述读出用的磁场进行读出而检出上述磁电阻元件的电学特性的参照值，并通过对上述基本值和上述参照值进行比较，判断上述存储数据的值。

11.一种磁随机存取存储器，包括：

具有夹着隧道阻挡薄膜配置的记录层和参照层、在上述记录层上存储数据的磁电阻元件，以及

有选择地对上述磁电阻元件赋予磁场的电流驱动线；

在上述记录层具备第一强磁性层的同时，上述参照层具备第二强磁性层；对于由上述电流驱动线赋予上述磁电阻元件的磁场，保持上述第二强磁性层的磁化方向的保持力设定为小于保持上述第一强磁性层的磁化方向的保持力；

上述参照层构成为，在上述电流驱动线中没有电流流过的状态中，上述第二强磁性层的磁化方向，不依赖于上述第一强磁性层的磁化方向而具有特定的方向。

12.如权利要求 11 所述的存储器，其中作为用来使上述第二强磁性层的磁化方向反转所必需的流过上述电流驱动线的电流的绝对值的最小值的第二电流值，比作为用来使上述第一强磁性层的磁化方向反转所必需的流过上述电流驱动线的电流的绝对值的最小值的第一电流值小。

13.如权利要求 11 所述的存储器，其中上述参照层具备上述第二强磁性层和反强磁性层的叠层结构。

14.如权利要求 13 所述的存储器，其中上述参照层还具备配设在上述第二强磁性层和上述反强磁性层之间的非磁性层。

15.如权利要求 13 所述的存储器，其中上述第一及第二强磁性层的易磁化轴方向及上述反强磁性层的磁化方向正交，与上述电流驱动线的延伸方向正交。

16.如权利要求 13 所述的存储器，其中上述第二强磁性层的易磁化轴方向与上述第一强磁性层的易磁化轴方向、上述反强磁性层的磁化方向及上述电流驱动线的延伸方向正交。

17.如权利要求 11 所述的存储器，其中上述第一强磁性层的长轴方向和上述第二强磁性层的长轴方向互相正交。

18.如权利要求 11 所述的存储器，其中在读出存储于上述磁电阻元件中的存储数据时，利用上述电流驱动线，将在不改变上述第一强磁性层磁化方向的情况下可以改变上述第二强磁性层的磁化方向的读出用磁场赋予上述磁电阻元件，同时进行读出操作，判断上述存储数据的值。

19.如权利要求 18 所述的存储器，其中利用上述读出用磁场使上述第二强磁性层的磁化方向实质上转动 180 度或 90 度。

20.如权利要求 18 所述的存储器，其中在读出上述存储数据时，在通过不施加上述读出用的磁场进行读出而检出上述磁电阻元件的电学特性的基本值的同时，通过施加上述读出用的磁场进行读出而检出上述磁电阻元件的电学特性的参照值，并通过对上述基本值和上述参照值进行比较，判断上述存储数据的值。

21.一种磁随机存取存储器，包括：

具有夹着隧道阻挡薄膜配置的记录层和参照层、在上述记录层上存储数据的磁电阻元件，以及

有选择地对上述磁电阻元件赋予磁场的电流驱动线；

在上述记录层具备第一强磁性层的同时，上述参照层具备第二强磁性层；对于由上述电流驱动线赋予上述磁电阻元件的磁场，保持上述第二强磁性层的磁化方向的保持力设定为小于保持上述第一强磁性层的磁化方向的保持力；

上述参照层构成为，在上述电流驱动线中没有电流流过的状态中，上述第二强磁性层的磁化方向，依赖于上述第一强磁性层的磁化方向而确定。

22.如权利要求 21 所述的存储器，其中作为用来使上述第二强磁性层的磁化方向反转所必需的流过上述电流驱动线的电流的绝对值的最小值的第二电流值，比作为用来使上述第一强磁性层的磁化方向反转所必需的流过上述电流驱动线的电流的绝对值的最小值的第一电流值小。

23.如权利要求 21 所述的存储器，其中上述参照层构成为，在上述电流驱动线中没有电流流过的状态中，上述第二强磁性层的磁化方向与上述第一强磁性层的磁化方向平行。

24.如权利要求 21 所述的存储器，其中上述参照层构成为，在上述电流驱动线中没有电流流过的状态中，上述第二强磁性层的磁化方向，与上述第一强磁性层的磁化方向反平行。

25.如权利要求 21 所述的存储器, 其中上述参照层不包含反强磁性层。

26.如权利要求 21 所述的存储器, 其中上述第一及第二强磁性层的易磁化轴与相对上述电流驱动线延伸方向正交。

27.如权利要求 21 所述的存储器, 其中表示上述第二强磁性层的长轴长/短轴长的第二比值小于表示上述第一强磁性层的长轴长/短轴长的第一比值。

28.如权利要求 21 所述的存储器, 其中上述第一强磁性层的长轴方向和上述第二强磁性层的长轴方向互相正交。

29.如权利要求 21 所述的存储器, 其中在读出存储于上述磁电阻元件中的存储数据时, 利用上述电流驱动线, 将在不改变上述第一强磁性层磁化方向的情况下可以使上述第二强磁性层的磁化方向朝向特定方向的读出用磁场赋予上述磁电阻元件, 同时进行读出操作, 判断上述存储数据的值。

30.如权利要求 29 所述的存储器, 其中在读出上述存储数据时, 在通过不施加上述读出用的磁场进行读出而检出上述磁电阻元件的电学特性的基本值的同时, 通过施加上述读出用的磁场进行读出而检出上述磁电阻元件的电学特性的参照值, 并通过对上述基本值和上述参照值进行比较, 判断上述存储数据的值。

31.一种磁随机存取存储器, 包括:

具有夹着第一隧道阻挡薄膜配置的第一记录层和第一参照层、以及夹着第二隧道阻挡薄膜配置的第二记录层和第二参照层、在上述记录层上存储数据的磁电阻元件, 以及

有选择地对上述磁电阻元件赋予磁场的电流驱动线;

在上述第一及第二记录层分别具备第一及第三强磁性层的同时, 上述第一及第二参照层具备第二及第四强磁性层; 对于由上述电流驱动线赋予上述磁电阻元件的磁场, 保持上述第二强磁性层的磁化方向的保持力设定为小于保持上述第一强磁性层的磁化方向的保持力, 并且保持上述第四强磁性层的磁化方向的保持力设定为小于保持

上述第三强磁性层的磁化方向的保持力;

上述第一及第二参照层分别构成为, 在上述电流驱动线中没有电流流过的状态中, 上述第二及第四强磁性层的磁化方向, 分别依赖于上述第一及第三强磁性层的磁化方向而确定。

磁随机存取存储器

(相关申请的交叉引用)

本申请基于并且要求 2002 年 9 月 10 日提交的在先的日本专利申请 No. 2002-264215 为优先权，此处援引其整个内容作为参考。)

技术领域

本发明涉及具有利用磁电阻效应进行数据存储的磁电阻元件的存储单元的磁随机存取存储器。

背景技术

所谓的磁随机存取存储器(以下简称为 MRAM)，作为信息的记录载体是可以利用强磁性体的磁化方向随时记录、改写、保持、读出信息的固体存储器的总称。

MRAM 的存储单元，通常为具有多个强磁性体叠层的结构。信息的记录，是将构成存储器单元的强磁体的磁化相对配置为平行或反平行，对应于二进制的信息“1”、“0”而进行的。记录信息的写入，是通过将各单元的强磁体的磁化方向利用配置成为十字交叉的写入线上流过电流而产生的电流磁场进行反转而完成的。记录保持时的功耗原理上为零，并且是一种即使是切断电源也可以保持记录的非易失性存储器。记录信息的读出，是利用存储单元的电阻随着构成单元强磁体的磁化方向与读出电流的夹角或多个强磁性层间的磁化的夹角而变化的现象的所谓的磁电阻效应进行的。

MRAM，与原有的利用电介质的半导体存储器及其功能相比较时，具有下述的(1)~(3)所示的很多优点。(1)完全非易失性，并且可改写 10^{15} 次以上；(2)可进行非破坏性读出，由于不需要刷新动作读出周期可以缩短；(3)与电荷蓄积型存储单元相比较，抗辐射性强。

MRAM 的每单位面积的集成度、写入、读出时间估计与 DRAM 的大致相同。所以，产生所谓的非易失性这一大特色，可以预期可应用于便携式用的外部记录装置、LSI 混合装载用途、以及个人计算机的主存中。

在现在正在进入实用化的 MRAM 中，在存储单元中使用形成强磁性隧道结的 MTJ(磁隧道结)元件作为磁电阻元件存储单元(比如，参照 ISSCC 2000 Digest Paper TA7.2)。MTJ 元件，主要由强磁性层/绝缘层/强磁性层组成的三层膜构成，电流通过隧道流过绝缘层。结的电阻值，与两强磁性金属层的磁化的夹角的余弦成比例地变化，在两磁化为反平行时取极大值。这是 TMR(隧道磁电阻)效应，比如，在 NiFe/Co/Al₂O₃/Co/NiFe 中，在 500e 以下的低磁场中，可以看到超过 25%的磁电阻变化率。

作为 MTJ 元件的结构，已知有利用两个强磁性体的保持力的差来保持数据的保持力差型。此外，已知还有以改善磁场灵敏度或降低写入电流为目的，与一个强磁性体相邻配置反强磁性体，希望将磁化方向固定的所谓的自旋阀结构型(比如，参照 Jpn. J. Appl. Phys., 36, L200(1997))。

可是，为了开发具有 Gb 级的集成度的 MRAM，还有多个问题尚待解决。其一为由于 MTJ 元件的加工偏差而产生的结电阻的偏差与 TMR 效应相比不能忽略，使读出显著困难。为了解决这一问题，提出了自参照型的读出操作。在这一方法中，比如，通过以下的步骤进行读出操作。

首先，根据存储于位于读出对象的地址的对象存储单元中的存储数据，检出电学特性值，存放于数据缓冲器中。之后，通过在同一对象存储单元中写入“1”数据的同时读出，检出基于“1”数据的电学特性值，存放于“1”数据缓冲器中。之后，通过在同一对象存储单元中写入“0”数据的同时读出，检出基于“0”数据的电学特性值，存放于“0”数据缓冲器中。最后，将存放于各数据缓冲器中的基于存储数据的电学特性值和分别基于“1”数据及“0”数据的

电学特性值进行比较，判断存储数据的值。

如上所述，自参照型的读出操作，基本上是破坏读出。所以，比如，在存储的数据为“1”时，在判断存储数据的值之后，必须再度写入“1”数据。另外，由于是经过复杂的手续结束读出，所以读出动作的速度低下，不能实现高速存储器。另外，由于伴随有两次写入动作，读出时的功耗也大。

因此，最好是能够提供一种可以借助工序比自参照型的读出操作少并且是非破坏读出方式进行低误差的读出的 MRAM。

发明内容

本发明的第一方面提供一种磁随机存取存储器，包括：

在配置成为矩阵形状在每个地址配设存储单元而成的存储单元阵列，该存储单元具有夹着隧道阻挡薄膜配置的记录层和参照层，且在上述记录层上存储数据的磁电阻元件作为存储元件；

与上述存储单元阵列的各行相连接的字线；

与上述存储单元阵列的各列相连接的位线；

用来选择上述字线的行译码器；以及

用来选择上述位线的列译码器；

在读出存储于上述存储单元阵列内的选择存储单元的记录层中的存储数据时，在利用上述字线及上述位线中的至少一方将在不破坏上述存储数据情况下可以改变上述选择存储单元的参照层的磁化方向的读出用的磁场施加于上述磁电阻元件的同时，进行读出操作，判断上述存储数据的值。

在上述第一方面中，在读出上述存储数据时，在通过不施加上述读出用的磁场进行读出而检出上述选择存储单元的电学特性的基本值的同时，通过不施加上述读出用的磁场进行读出而检出上述选择存储单元的电学特性的参照值，并通过对上述基本值和上述参照值进行比较，可以判断上述存储数据的值。

本发明的第二方面是一种磁随机存取存储器，包括：

具有夹着隧道阻挡薄膜配置的记录层和参照层、在上述记录层上存储数据的磁电阻元件，以及

有选择地对上述磁电阻元件赋予磁场的电流驱动线；

在上述记录层具备第一强磁性层的同时，上述参照层具备第二强磁性层；对于由上述电流驱动线赋予上述磁电阻元件的磁场，保持上述第二强磁性层的磁化方向的保持力设定为小于保持上述第一强磁性层的磁化方向的保持力。

在上述第二方面中，上述参照层构成为，在上述电流驱动线中没有电流流过的状态中，上述第二强磁性层的磁化方向，可以不依赖于上述第一强磁性层的磁化方向而具有特定的方向。

在上述第二方面中，上述参照层构成为，在上述电流驱动线中没有电流流过的状态中，上述第二强磁性层的磁化方向，可以依赖于上述第一强磁性层的磁化方向而确定。

附图说明

图 1 为示出本发明的实施方式 1 的 MRAM 的框图。

图 2 为示出与本发明的实施方式 1 的 MRAM 的两个存储单元相当的部分的平面图。

图 3 为沿着图 2 的 III-III 线的剖面图。

图 4 为沿着图 2 的 IV-IV 线的剖面图。

图 5 为示出本发明的实施方式 2 的 MRAM 的各存储单元的 MTJ 元件的纵剖侧面图。

图 6A 为示出图 5 所示的 MTJ 元件的平面布局图，而图 6B 为示出其变更例的平面布局图。

图 7 为示出本发明的实施方式 3 的 MRAM 的各存储单元的 MTJ 元件的纵剖侧面图。

图 8 为示出图 7 所示的 MTJ 元件的平面布局图。

图 9 为示出本发明的实施方式 4 的 MRAM 的各存储单元的 MTJ 元件的纵剖侧面图。

图 10A 为示出图 9 所示的 MTJ 元件的平面布局图，而图 10B 为示出其变更例的平面布局图。

图 11 为示出本发明的实施方式 5 的 MRAM 的各存储单元的 MTJ 元件的纵剖侧面图。

具体实施方式

下面参照附图对本发明的实施方式予以说明。在以下的说明中，具有大致同一功能及结构的结构元件，赋予同一符号，并且只有在必需时重复说明。

(实施方式 1)

图 1 为示出本发明的实施方式 1 的 MRAM 的框图。此 MRAM 具有同步型的存储器芯片结构。

此 MRAM，具有在配置成为矩阵形状在每个地址上配设有将磁电阻元件(MTJ 元件)作为存储元件的存储单元 24 的存储单元阵列 21。存储单元阵列 21 的各行与字线 22 相连接，而存储单元阵列 21 的各列与位线 23 相连接。此外，在图 1 中，为简单起见，示出的字线 22 代表写入字线和读出位线这两者。

为了选择字线 22，配设有行地址缓冲器 11、行译码器 13、15 以及行驱动器 14、16。为了选择位线 23，配设有列地址缓冲器 12、列译码器 17 以及列驱动器 18。另外，位线 23 与用于以后述的方式读出存储数据的读出电路 19 相连接。读出电路 19，包含 A/D 变换器 25、第一数据缓冲器 26、第二数据缓冲器 27 以及比较器 29 等。

行地址缓冲器 11 及列地址缓冲器 12，与生成地址信号及数据信号等的控制部 CS1 相连接。控制部 CS1，与存储单元阵列 21 等混合装载于同一基板上，或者形成为与存储单元阵列 21 等不同的元件。来自控制部 CS1 的地址信号，分别临时锁存于行地址缓冲器 11 及列地址缓冲器 12 中。

读出时，根据锁存的地址信号，由行译码器 13 及列译码器 17 分别选择行及列。写入时，在对象存储单元 24 的地址的位线 23 中流

过来自列驱动器 18 的电流，同时在与对象存储单元 24 的地址相当的字线 22 中从左右的行驱动器 14、16 施加与写入信息相应的电流。

在本实施方式的 MRAM 中，在读出存储于存储单元阵列内的选择存储单元中的存储数据时，以下面的步骤进行操作。另外，这一读出操作，如后所述，可以通过对包含 MTJ 元件的存储单元 24 的结构进行研究而实现。

首先，不在选择存储单元的 MTJ 元件上施加磁场进行读出。由此，检出选择存储单元的电学特性(典型的为电阻)的基本值，并将此基本值的数据存储于第一数据缓冲器 26。之后，利用在用作产生磁场的电流驱动线的字线 22 及位线 23 中的至少一个在选择存储单元的 MTJ 元件上施加读出用的磁场而进行读出。由此，检出选择存储单元的电学特性的参照值，并将此参照值的数据存储于第二数据缓冲器 27。之后，通过利用比较器 29 对存放于第一数据缓冲器 26 及第二数据缓冲器 27 中的基本值及参照值进行比较而判断存储数据的值，比如，是“1”还是“0”。

图 2 为示出与本发明的实施方式 1 的 MRAM 的两个存储单元相当的部分的平面图，图 3 及图 4 分别为沿着图 2 的 III-III 线及 IV-IV 线的剖面图。

在半导体衬底 40 上，形成 MOS 晶体管 41 用作读出用的开关元件。MOS 晶体管 41 包括在衬底 40 的表面内形成的源扩散层 42 及漏扩散层 43 以及经栅绝缘膜配设于衬底 40 的表面的沟道区域上的栅电极 44。栅电极 44，由与图 3 的纸面正交且延伸的读出字线(在图 1 中以字线 22 为代表示出)的一部分构成。源扩散层 42，经插塞 45 与读出源线 46 相连接。

另一方面，MOS 晶体管 41 的漏扩散层 43，经插塞 47、49 及布线层 48、50、51 与 MTJ 元件 35 相连接。MTJ 元件 35，夹在布线层 51 和另一边的作为写入用电流驱动线的位线 57(图 1 中以位线 23 为代表示出)之间。在 MTJ 元件 35 的正下方，经绝缘膜配置有作为另一写入用电流驱动线的写入字线 56(图 1 中以字线 22 为代表示出)。

写入字线 56，在与位线 57 的延伸方向(列方向)垂直的方向(行方向)上延伸。在图 3 及图 4 中，符号 54、55 分别表示层间绝缘膜及元件分离绝缘膜。

写入字线 56 和位线 57，如图 2 所示，互相正交，形成正交矩阵。在写入字线 56 和位线 57 的各个交点上配置的一个 MTJ 元件 35，与图 1 所示的存储单元 24 相对应。在 MTJ 元件 35 中，利用在写入字线 56 中流过的电流及在位线 57 中流过的电流所形成的磁场写入数据。另外，在图 3 中，示出的是位线 57 位于写入字线 56 的上方的结构，但相反的结构也可以。

各 MTJ 元件 35，具有夹着隧道阻挡膜 36 配置的记录层 37 和参照层 38，在记录层 37 中存储数据。记录层 37 及参照层 38 都具有强磁性层，各强磁性层，由包含 Fe、Ni、Co 的强磁性合金的单层或多层膜构成。MTJ 元件 35，设定为比如，对于由上述写入字线(电流驱动线)56 赋予 MTJ 元件 35 的磁场，保持参照层 38 的强磁性层的磁化方向的保持力小于保持记录层 37 的强磁性层的磁化方向的保持力。此处，所谓的“保持磁化方向的保持力”，具体说，就是使该磁化方向反转所必需的最小限度的磁场的大小。此外，也有用术语“保磁力”代替“保持力”的地方。

因此，作为用来使参照层 38 的强磁性层的磁化方向反转所必需的流经写入字线 56 的电流的绝对值的最小值的电流值，比作为用来使记录层 37 的强磁性层的磁化方向反转所必需的流经写入字线 56 的电流的绝对值的最小值的电流值更小。就是说，通过使在写入字线 56 中流过规定值的电流，可以在不改变记录层 37 中的强磁性层的磁化方向的情况下将改变参照层 38 的强磁性层的磁化方向的磁场赋予 MTJ 元件 35。

利用这种结构，在读出存储于 MTJ 元件 35 的记录层 37 中的存储数据时，可以以下面的步骤进行操作。就是说，首先，在写入字线 56 中没有电流流过(不对 MTJ 元件 35 赋予磁场)的情况下进行读出。由此，检出 MTJ 元件 35 的电学特性(典型的为电阻)的基本值。之

后，通过使上述规定值的电流流过写入字线 56，对 MTJ 元件 35 赋予只改变参照层 38 的强磁性层的磁化方向或朝着特定方向的读出用磁场的同时进行读出。由此，可检出 MTJ 元件 35 的电学特性的参照值。之后，通过比较基本值和参照值来判断存储数据的值是，比如，“1”或“0”。

在读出上述的 MTJ 元件 35 的存储数据的操作中，形成读出用的磁场所必需的电流值及判断存储数据的值的方式，因包含 MTJ 元件的存储单元 24 的结构的不同而异。关于这些的详细情况在以下的实施方式中依次进行说明。

(实施方式 2)

图 5 及图 6A 为示出本发明的实施方式 2 的 MRAM 的各存储单元的 MTJ 元件的纵剖侧面图及平面布局图。此外，表示本实施方式的 MRAM 的整体结构的框图与图 1 所示的框图基本相同，并且各存储单元周围的布线结构及层结构与图 2 至图 4 所示基本相同。

如图 5 所示，此 MTJ 元件 60，配设于图 3 图示的 MTJ 元件 35 的位置，即夹在布线层 51 和位线 57 之间。MTJ 元件 60，具有包含夹着隧道阻挡膜(绝缘膜)61 配设的记录层 62 和参照层 63 的自旋阀结构。记录层 62，由包含 Fe、Ni、Co 的强磁性合金的单层或多层膜构成的强磁性层形成。记录层 62 的底面与布线层 51 电连接。

另一方面，参照层 63，从隧道阻挡膜 61 侧，由包含 Fe、Ni、Co 的强磁性合金的单层或多层膜构成的强磁性层 66、由 Ru 等非磁性金属构成的非磁性层 67 以及高保磁力层 68 形成。高保磁力层 68 包括由包含 Fe、Ni、Co 的强磁性合金的单层或多层膜构成的强磁性层 68a 及至少由一层 PtMn 等反强磁性体的薄膜构成的反强磁性层 68b。反强磁性层 68b 的上面经布线 58 与位线 57 电连接。

此外，MTJ 元件 60，也可以是双自旋阀结构的 MTJ 元件。此时，MTJ 元件 60，具有夹着记录层配设的两个隧道阻挡膜和在两个隧道阻挡膜的外侧配设的两个参照层。记录层及各参照层的结构，比

如，与图 5 所图示的相同。通过采用双自旋阀结构，可以降低相对施加电压的磁电阻变化率的减少，并且可以提高耐压性。

MTJ 元件 60，对于由写入字线(电流驱动线)56(参见图 3)赋予 MTJ 元件 60 的磁场，保持参照层 63 的强磁性层 66 的磁化方向的保持力设定为小于保持记录层 62 的强磁性层的磁化方向的保持力。由此，通过使在写入字线 56 中流过规定值的电流，可以在不改变记录层 62 中的强磁性层 66 的磁化方向的情况下将改变参照层 63 的强磁性层 66 的磁化方向的磁场赋予 MTJ 元件 60。

这种磁化方向的保持力的设定，可实现减弱参照层 63 的高保磁力层 68 和强磁性层 66 的耦合。在图 5 图示的结构中，由于夹在高保磁力层 68 和强磁性层 66 之间的非磁性层 67，两层之间的耦合减弱。此外，由于高保磁力层 68 和强磁性层 66 之间的耦合减弱，可以采用将高保磁力层 68 的膜厚减薄、将强磁性层 66 本身的膜厚减薄及将非磁性层 67 的膜厚加厚等条件适当改变的办法。为了防止记录层(强磁性层)62 的磁化方向的反转，对于在记录层 62 的易磁化轴方向上的磁场，记录层 62 的磁化方向的保持力最好是参照层 63 的强磁性层 66 的两倍以上。

如图 6A 所示，如设位线 57 的延伸方向为 X 方向，写入字线 56(参照图 3)的延伸方向为 Y 方向，则记录层 62 的长轴方向及易磁化轴方向与 X 方向平行。另一方面，参照层 63 的强磁性层 66 的易磁化轴方向及高保磁力层 68b 的磁化方向也与 X 方向平行，所以与用来赋予读出用的磁场的写入字线 56 的延伸方向(Y 方向)正交。

根据本实施方式，在读出存储于记录层 62 中的存储数据时，可以以下面的步骤进行操作。在下面的读出操作的说明中，在存储数据为“1”时，在初始状态下，记录层 62 的强磁性层及参照层 63 的强磁性层 66 的磁化方向分别处于由图 6A 中的 M11 及 M12 所示的状态。另外，通过使读出用电流 I_{ref1} 的电流流过写入字线 56，可以在不改变记录层 62 中的强磁性层的磁化方向的情况下将使参照层 63 的强磁性层 66 的磁化方向反转(大致转动 180 度)的磁场赋予 MTJ 元件

60.

在写入字线无电流流过时进行读出(基本值)。

在写入字线流过 I_{ref1} 的同时进行读出(参照值)。

比较基本值与参照值, 判断存储数据的值。

如基本值 > 参照值, 存储数据为“1”。

如基本值 < 参照值, 存储数据为“0”。

就是说, 在初始状态中, 如果记录层 62 的自旋(磁化方向)和参照层 63 的自旋(磁化方向)平行, 则在读出用电流 I_{ref1} 流过中间, 两自旋变为反平行而使磁电阻增加。另一方面, 在初始状态中, 如果记录层 62 的自旋和参照层 63 的自旋反平行, 则在读出用电流 I_{ref1} 流过中间, 两自旋变为平行而使磁电阻减小。于是, 了解基本值和参照值的大小关系, 就可以判断存储数据是“1”还是“0”。

根据本实施方式, 通过不使记录层 62 的自旋(磁化方向)反转, 而只使参照层 63 的自旋(磁化方向)反转, 可以进行非破坏读出。参照层 63 的自旋的取向, 当使写入字线 56 的电流返回到零时, 由于高保磁力层 68 和强磁性层 66 耦合, 返回到原来的状态。换言之, 通过在使电流流过写入字线 56 的同时进行目的为获得参照值的读出工序, 可以减少现有的自参照方式的操作工序的数目。

另外, 记录层 62, 为了使其数据保持性良好, 最好是具有使易磁化轴方向的长度和难磁化轴方向的长度的比值为远离 1 的形状各向异性。在本实施方式中, 记录层 62 的易磁化轴方向的长度和难磁化轴方向的长度的比值(X 方向长度/Y 方向长度)设定为 1.5 以上。

另一方面, 参照层 63, 最好是使难磁化轴方向的长度和易磁化轴方向的长度的比值(X 方向长度/Y 方向长度)为与 1 接近或小于 1。于是, 利用来自写入字线 56 的读出用的磁场, 很容易使参照层 63 的强磁性层 66 的磁化方向反转。就是说, 可以将用来形成读出用的磁场的电流值抑制为很小。因此, 在降低读出时的功耗的同时, 可以抑制读出时对相邻存储单元的记录层 62 的影响, 可提高 MRAM 的可靠性。

从这样的观点出发，在图 6A 图示的结构中，记录层 62 形成为长轴长(易磁化轴方向长度)/短轴长(难磁化轴方向长度)的比值为 2 的椭圆形状，参照层 63 形成为圆形。另外，在图 6B 图示的变更例的结构中，记录层 62 及参照层 63 都形成椭圆形状，记录层 62 的长轴方向(易磁化轴方向)和参照层 63 的长轴方向(难磁化轴方向)互相正交。

根据本实施方式，利用非破坏读出，可实现与现有的自参照方式相同程度的读出信号量差。所以，可以防止由于加工过程产生的存储单元的个体差异而引起的可靠性降低。另外，由于可以减少现有的自参照方式的操作工序数目，可以进行高速动作。

(实施方式 3)

图 7 及图 8 为示出本发明的实施方式 3 的 MRAM 的各存储单元的 MTJ 元件的纵剖侧面图及平面布局图。此外，表示本实施方式的 MRAM 的整体结构的框图与图 1 所示的框图基本相同，并且各存储单元周围的布线结构及层结构与图 2 至图 4 所示基本相同。

根据上述实施方式 2，利用一次读出动作，可将属于一根写入字线 56 的 n 个位的信息从平行设置的多个位线一次读出。可是，如果考虑到写入动作，则采用利用流过位线的电流的方向分写“1”和“0”的结构的情况很多。如实施方式 2 这样，在记录层 62 的强磁性层的易磁化轴方向与写入字线 56 的延伸方向(Y 方向)正交的情况下，为了将属于一根写入字线 56 的 n 个位全部写入，必需 n 次写入动作。与此相对，根据实施方式 3，对于属于读出/写入共用的一根写入字线 56 的 n 个位，各一次就可完成。

如图 7 所示，此 MTJ 元件 70，配设于图 3 图示的 MTJ 元件 35 的位置，即夹在布线层 51 和位线 57 之间。MTJ 元件 70，具有包含夹着隧道阻挡膜(绝缘膜)71 配设的记录层 72 和参照层 73 的自旋阀结构。记录层 72，由包含 Fe、Ni、Co 的强磁性合金的单层或多层膜构成的强磁性层形成。记录层 72 的底面与布线层 51 电连接。

另一方面，参照层 73，从隧道阻挡膜 71 侧，由包含 Fe、Ni、Co 的强磁性合金的单层或多层膜构成的强磁性层 76、由 Ru 等非磁

性金属构成的非磁性层 77 以及高保磁力层 78 形成。高保磁力层 78 的构成包括由包含 Fe、Ni、Co 的强磁性合金的单层或多层膜构成的强磁性层 78a 及至少由一层 PtMn 等反强磁性体的薄膜构成的反强磁性层 78b。反强磁性层 78b 的上面经布线 58 与位线 57 电连接。

MTJ 元件 70，对于由写入字线(电流驱动线)56 赋予 MTJ 元件 70 的磁场，保持参照层 73 的强磁性层 76 的磁化方向的保持力设定为小于保持记录层 72 的强磁性层的磁化方向的保持力。由此，通过使在写入字线 56 中流过规定值的电流，可以在不改变记录层 72 中的强磁性层的磁化方向的情况下将改变参照层 73 的强磁性层 76 的磁化方向的磁场赋予 MTJ 元件 70。

这种磁化方向的保持力的设定，如实施方式 2 所述，可实现减弱参照层 73 的高保磁力层 78 和强磁性层 76 的耦合。另外，如实施方式 2 所述，也可以是双自旋阀结构的 MTJ 元件。

如图 8 所示，如设位线 57 的延伸方向为 X 方向，写入字线 56(参照图 3)的延伸方向为 Y 方向，则记录层 72 的长轴方向及易磁化轴方向与 Y 方向平行。另一方面，参照层 73 的强磁性层 76 的长轴方向与 X 方向平行，所以与用来赋予读出用的磁场的写入字线 56 的延伸方向(Y 方向)正交。另外，参照层 73 的反强磁性层 78b 的感应磁性各向异性的轴与 Y 方向平行，参照层 73 的强磁性层 76 的感应磁性各向异性的轴与 X 方向平行。

利用这种结构，参照层 73 的强磁性层 76 的磁化方向，在不存在外部磁场的状态下，由于与反强磁性层 78b 的耦合而朝向 Y 方向。另一方面，在外部存在 X 方向的磁场的状态下，强磁性层 76 的磁化方向，由于其形状磁性各向异性及感应磁性各向异性，容易朝向 X 方向。此外，感应磁性各向异性的轴的取向，具体言之，比如，在施加磁场的同时进行的磁性体膜的叠层处理中和/或在施加磁场的同时进行的磁性体膜的退火处理中，施加的磁场的方向几乎一致。

根据本实施方式，在读出存储于记录层 72 中的存储数据时，可以以下面的步骤进行操作。此时的动作原理与实施方式 2 的相同，在

利用写入字线 56 将读出用的磁场赋予 MTJ 元件 70 时，参照层 73 的强磁性层 76 的磁化方向与记录层 72 的强磁性层的磁化方向大致正交。

在下述的读出操作的说明中，在存储数据为“1”时，在初始状态下，记录层 72 的强磁性层及参照层 73 的强磁性层 76 的磁化方向分别处于由图 8 中的 M21 及 M22 所示的状态。另外，通过使读出用电流 I_{ref2} 的电流流过写入字线 56，可以在不改变记录层 72 中的强磁性层的磁化方向的情况下将使参照层 73 的强磁性层 76 的磁化方向反转(大致转动 180 度)的磁场赋予 MTJ 元件 70。

在写入字线无电流流过时进行读出(基本值)。

在写入字线流过 I_{ref2} 的同时进行读出(参照值)。

比较基本值与参照值，判断存储数据的值。

如基本值>参照值，存储数据为“1”。

如基本值<参照值，存储数据为“0”。

就是说，在初始状态中，如果记录层 72 的自旋(磁化方向)和参照层 73 的自旋(磁化方向)平行，则在读出用电流 I_{ref2} 流过期间，两自旋大致成为直角而使磁电阻增加。另一方面，在初始状态中，如果记录层 72 的自旋和参照层 73 的自旋反平行，则在读出用电流 I_{ref2} 流过期间，两自旋变成大致为直角，使隧道磁电阻减小。于是，了解基本值和参照值的大小关系，就可以判断存储数据是“1”还是“0”。

根据本实施方式，基本值与参照值的信号量的差，与实施方式 2 相比更小。这是因为，与在实施方式 2 中，通过使参照层 63 的自旋反转，观察(平行→反平行)或(反平行→平行)的变化时的信号量变化不同，在实施方式 3 中，由于参照层 73 的自旋不“反转”而只限于“转动大致 90 度”，只能获得(平行→正交)或(反平行→正交)的变化大小的信号量变化。因此，在实施方式 3 中，信号量变化为实施方式 2 的大约一半的程度，但在比较基本值与参照值判断存储数据上是足够的。

另一方面，根据实施方式 3，在实施方式 2 基础上还可获得以下的效果。即由于记录层 72 的易磁化轴方向与写入字线 56 平行，对于属于读出/写入共用的一根写入字线 56 的 n 个位，各一次就可完成。另外，可以回避由于读出用电流 I_{ref2} 流过引起的对记录层 72 的误写入的危险。这是因为在电流流过写入字线 56 时，在记录层 72 附近施加的磁场的方向是记录层 72 的难磁化轴方向。就是说，即使是假设在写入字线 56 中有大电流流过，也不会使记录层 72 的自旋取向反转而破坏数据。另外，可以提供在读出时读出用电流 I_{ref2} 的余量展宽，难以产生误写入和误读出的 MRAM。

另外，记录层 72，为了使其数据保持性良好，最好是具有使易磁化轴方向的长度和难磁化轴方向的长度的比值为远离 1 的形状各向异性。在本实施方式中，记录层 72 的易磁化轴方向的长度和难磁化轴方向的长度的比值(Y 方向长度/X 方向长度)设定为 1.5 以上。

另一方面，参照层 73 的强磁性层 76，最好是使难磁化轴方向的长度和易磁化轴方向的长度的比值(Y 方向长度/X 方向长度)为小于 1。由此，利用来自写入字线 56 的读出用的磁场，很容易使参照层 73 的强磁性层 76 的磁化方向转动大致 90 度。就是说，可以将用来形成读出用的磁场的电流值抑制为很小。因此，在降低读出时的功耗的同时，可以抑制读出时对相邻存储单元的记录层 72 的影响，可提高 MRAM 的可靠性。

从这样的观点出发，在图 8 图示的结构中，记录层 72 及参照层 73 都形成椭圆形状，记录层 72 的长轴方向(易磁化轴方向)和参照层 73 的长轴方向(易磁化轴方向)互相正交。

(实施方式 4)

图 9 及图 10A 为示出本发明的实施方式 4 的 MRAM 的各存储单元的 MTJ 元件的纵剖侧面图及平面布局图。此外，表示本实施方式的 MRAM 的整体结构的框图与图 1 所示的框图基本相同，并且各存储单元周围的布线结构及层结构与图 2 至图 4 所示基本相同。

如图9所示,此MTJ元件80,配设于图3图示的MTJ元件35的位置,即夹在布线层51和位线57之间。MTJ元件80,具有包含夹着隧道阻挡膜(绝缘膜)81配设的记录层82和参照层83的自旋阀结构。记录层82,由包含Fe、Ni、Co的强磁性合金的单层或多层膜构成的强磁性层形成。记录层82的底面与布线层51电连接。另一方面,参照层83,由包含Fe、Ni、Co的强磁性合金的单层或多层膜构成的强磁性层形成。参照层83的上面经布线58与位线57电连接。

另外,MTJ元件80,也可以是具有两个隧道阻挡膜的MTJ元件。此时,MTJ元件80,具有夹着记录层配设的两个隧道阻挡膜和在两个隧道阻挡膜的外侧配设的两个参照层。记录层及各参照层的结构,比如,与图9所图示的相同。通过采用具有两个隧道阻挡膜的结构,可以降低相对施加电压的磁电阻变化率的减少,并且可以提高耐压性。

作为本实施方式的特征点,参照层83,与实施方式2及3的参照层63、73不同,不具有反强磁性层,只由强磁性层构成。MTJ元件80,对于由写入字线(电流驱动线)56(参照图3)赋予MTJ元件80的磁场,保持参照层83的强磁性层的磁化方向的保持力设定为小于保持记录层82的强磁性层的磁化方向的保持力。由此,通过使在写入字线56中流过规定值的电流,可以在不改变记录层82中的强磁性层的磁化方向的情况下将改变参照层83的强磁性层的磁化方向的磁场赋予MTJ元件80。

参照层83的磁化方向的保持力,通过适当组合该材料组成的改变、薄膜化、低长宽比的形状等条件,设定为比记录层82的磁化方向的保持力为小。因此,在没有外部磁场的状态下,参照层83的方向由于与记录层82的耦合,依赖于记录层82的磁化方向。但是,参照层83的自旋(磁化方向)与记录层82的自旋(磁化方向)是平行还是反平行,依赖于参照层83的大小和隧道阻挡膜81的膜厚而决定。

具体言之,在参照层83保持与记录层82相同程度以上的大小而隧道阻挡膜81薄时,两者的自旋平行。另一方面,在参照层83加

工成比记录层 82 更小，而隧道阻挡膜 81 为比较厚的场合，两者的自旋为反平行。究竟是何种状态，由材料、加工过程、尺寸等决定。不过，下面为了易于说明起见，假设后者的状态，即实质上没有外部磁场时，参照层 83 的自旋变为与记录层 82 的自旋反平行。以下的说明，在置换为前者的状态的场合，应该可以很容易地改读。

如图 10A 所示，如设位线 57 的延伸方向为 X 方向，写入字线 56(参照图 3)的延伸方向为 Y 方向，则记录层 82 的长轴方向及易磁化轴方向与 X 方向平行。另一方面，参照层 83 的易磁化轴方向也与 X 方向平行，所以与用来赋予读出用的磁场的写入字线 56 的延伸方向(Y 方向)正交。

根据本实施方式，在读出存储于记录层 82 中的存储数据时，可以以下面的步骤进行操作。参照层 83 的强磁性层的磁化方向，如上所述，由与记录层 82 的耦合决定，可通过施加强外部磁场使其反转。不过，在实施方式 4 中，流经写入字线 56 的读出用电流，使参照层 83 的磁化方向朝向特定的方向。于是，参照层 83 的磁化方向在初始状态中已经朝向特定方向时，读出用电流不会改变参照层 83 的磁化方向。这一点，与在实施方式 2 及 3 中，利用读出用电流一定可以改变参照层的强磁性层的磁化方向的情况不同。

在下面的读出操作的说明中，在存储数据为“1”时，在初始状态下，记录层 82 的强磁性层及参照层 83 的强磁性层的磁化方向分别处于由图 10A 中的 M31 及 M32 所示的状态。另外，通过使读出用电流 I_{ref3} 的电流流过写入字线 56，可以在不改变记录层 82 中的强磁性层的磁化方向的情况下将使参照层 83 的磁化方向可朝向图 10A 中的左边方向的磁场赋予 MTJ 元件 80。

在写入字线无电流流过时进行读出(基本值)。

在写入字线流过 I_{ref1} 的同时进行读出(参照值)。

比较基本值与参照值判断存储数据的值。

如基本值 \approx 参照值，存储数据为“1”。

如基本值 $<$ 参照值，存储数据为“0”。

就是说,在初始状态中,如果记录层 82 的自旋(磁化方向)为右向,而参照层 83 的自旋(磁化方向)为左向,则在读出用电流 I_{ref3} 流过中间,由于两自旋方向不改变,隧道磁电阻不变。另一方面,在初始状态中,如果记录层 82 的自旋为左向,而参照层 83 的自旋为右向,则在读出用电流 I_{ref3} 流过中间,由于两自旋变为平行,隧道磁电阻减小。于是,了解基本值和参照值的大小关系,就可以判断存储数据是“1”还是“0”。

根据本实施方式,通过不使记录层 82 的自旋(磁化方向)反转,而只使参照层 83 的自旋(磁化方向)反转,可以进行非破坏读出,可实现与现有的自参照方式相同程度的读出信号量差。此外,参照层 83 的自旋取向,当使写入字线 56 的电流返回到零时,由于参照层 83 和记录层 82d1 耦合,返回到原来的状态。换言之,通过在使电流流过写入字线 56 的同时进行目的为获得参照值的读出工序,可以减少现有的自参照方式的操作工序的数目。

另外,记录层 82,为使其数据保持性良好,最好是具有使易磁化轴方向的长度和难磁化轴方向的长度的比值为远离 1 的形状各向异性。在本实施方式中,记录层 82 的易磁化轴方向的长度和难磁化轴方向的长度的比值(X 方向长度/Y 方向长度)设定为 1.5 以上。

另一方面,参照层 83,最好是使难磁化轴方向的长度和易磁化轴方向的长度的比值(X 方向长度/Y 方向长度)为与 1 接近或小于 1。于是,利用来自写入字线 56 的读出用的磁场,很容易使参照层 83 的磁化方向反转。就是说,可以将用来形成读出用的磁场的电流值抑制为很小。因此,在降低读出时的功耗的同时,可以抑制读出时对相邻存储单元的记录层 82 的影响,可提高 MRAM 的可靠性。

从这样的观点出发,在图 10A 图示的结构中,记录层 82 形成为长轴长(易磁化轴方向长度)/短轴长(难磁化轴方向长度)的比值为 2 的椭圆形状,参照层 83 形成为圆形。另外,在图 10B 图示的变更例的结构中,记录层 82 及参照层 83 都形成为椭圆形状,记录层 82 的长轴方向(易磁化轴方向)和参照层 83 的长轴方向(难磁化轴方向)互相正

交。

另外，在本实施方式的 MRAM 中，MTJ 元件 80 不包含反强磁性层。反强磁性层多半包含 Mn 等金属原子，而存在由于这种 Mn 在低温下也易于扩散而使隧道阻挡膜的特性劣化，使 MRAM 的可靠性降低的问题。因此，在采用现有的 MTJ 元件的 MRAM 中，MTJ 元件形成后的布线工序及用来改善晶体管特性的退火温度必须抑制到大约 300°C。这一点阻碍了最大限度地发挥晶体的性能。

与此相对，在本实施方式的 MRAM 中，参照层 83 与记录层 82 耦合决定自旋的取向。MTJ 元件 80，由于不需要决定参照层的自旋的取向的反强磁性层，不需要使用 Mn 等元素。因此，对于 MTJ 元件 80 形成后的热处理工序的限制得到缓和，可以形成更高性能的晶体管。所以，可能在更高性能的逻辑 LSI 中混合装载 MRAM。

根据本实施方式，利用非破坏读出，可实现与现有的自参照方式相同程度的读出信号量差。所以，可以防止由于加工过程产生的存储单元的个体差异而引起的可靠性降低。另外，由于可以减少现有的自参照方式的操作工序数目，可以进行高速动作。

(实施方式 5)

图 11 为示出本发明的实施方式 5 的 MRAM 的各存储单元的 MTJ 元件的纵剖侧面图。此外，表示本实施方式的 MRAM 的整体结构的框图与图 1 所示的框图基本相同，并且各存储单元周围的布线结构及层结构与图 2 至图 4 所示基本相同。

本实施方式的 MTJ 元件 90，是将两个图 9 所示的实施方式中说明的将记录层和参照层耦合的 MTJ 元件叠层而形成在一个存储单元中可以记录多个位的元件。此 MTJ 元件 90，配设于与一个存储单元相对应的图 3 所示的 MTJ 元件 35 的位置，即夹在布线层 51 和位线 57 之间。

如图 11 所示，此 MTJ 元件 90，具有夹着第一隧道阻挡膜(绝缘膜)91 配设的第一记录层 92 及第一参照层 93 以及夹着第二隧道阻挡膜(绝缘膜)96 配设的第二记录层 97 及第二参照层 98。在第一参照层

93 和第二参照层 98 之间插入非磁性层 95。第一记录层 92 的底面与布线层 51 电连接。第二记录层 97 的上面与位线 57 电连接。各记录层 92、97，由包含 Fe、Ni、Co 的强磁性合金的单层或多层膜构成的强磁性层形成。另一方面，各参照层 93、98，由包含 Fe、Ni、Co 的强磁性合金的单层或多层膜构成的强磁性层形成。

MTJ 元件 90，对于由写入字线(电流驱动线)56(参照图 3)赋予 MTJ 元件 90 的磁场，保持第一参照层 93 的磁化方向的保持力设定为小于保持第一记录层 92 的磁化方向的保持力，并且保持第二参照层 98 的磁化方向的保持力设定为小于保持第二记录层 97 的磁化方向的保持力。另外，第一记录层 92 的磁化方向的保持力设定为大于第二记录层 97 的磁化方向的保持力。第一及第二参照层 93、98 的磁化方向，在写入字线 56 中没有电流流过的状态中，分别取决于第一及第二记录层 92、97 的磁化方向。

第一及第二记录层 92、97 的长轴方向及易磁化轴方向与位线 57 的延伸方向平行。另一方面，第一及第二参照层 93、98 的易磁化轴方向也与位线 57 的延伸方向平行，所以与用来赋予读出用的磁场的写入字线 56 的延伸方向正交。

根据本实施方式，在读出存储于第一及第二记录层 92、97 中的存储数据时，可以以下面的步骤进行操作。此处，用来分别使第一及第二参照层 93、98 反转所必需的写入字线 56 的最小值电流设为 I_{ref41} 、 I_{ref42} ， I_{ref41} 大于 I_{ref42} 。

在写入字线无电流流过时进行读出(基本值)。

在写入字线流过 I_{ref41} 的同时进行读出(第一参照值)。

在写入字线流过 I_{ref42} 的同时进行读出(第二参照值)。

比较基本值与第一参照值，判断第一记录层 92 的存储数据的值。

比较基本值与第二参照值，判断第二记录层 97 的存储数据的值。

另外，使第一及第二记录层 92、97 的易磁化轴方向互相正交，

可以扩大写入时的误写入的余量。此时，在读出时，由于使第一及第二参照层 93、98 反转，比如，在第一记录层 92 读出时，在写入字线 56 中流过 Iref41，在第二记录层 97 的读出时在位线 57 上施加 Iref42。

根据本实施方式，由于在实施方式 4 基础上，可以缩小每一位的单元面积，可以实现 MRAM 的进一步的高密度化。

如上所述，根据本发明的实施方式 1 至实施方式 5，可以提供一种可以通过比自参照型的读出操作更少的工序，且以非破坏读出的方式进行低误差的读出的 MRAM。

其他的优点和改型对于本领域人士是显而易见的。因此，本发明在其广义上不受限于上述具体细节和代表性的实施方式。所以，在不脱离后附的权利要求及其等效物确定的总发明构思的精神和范围的情况下可以进行各种改型。

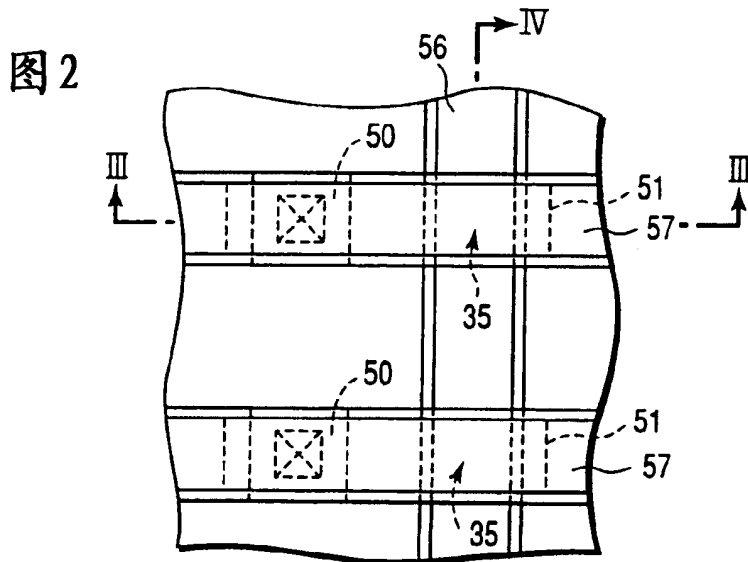
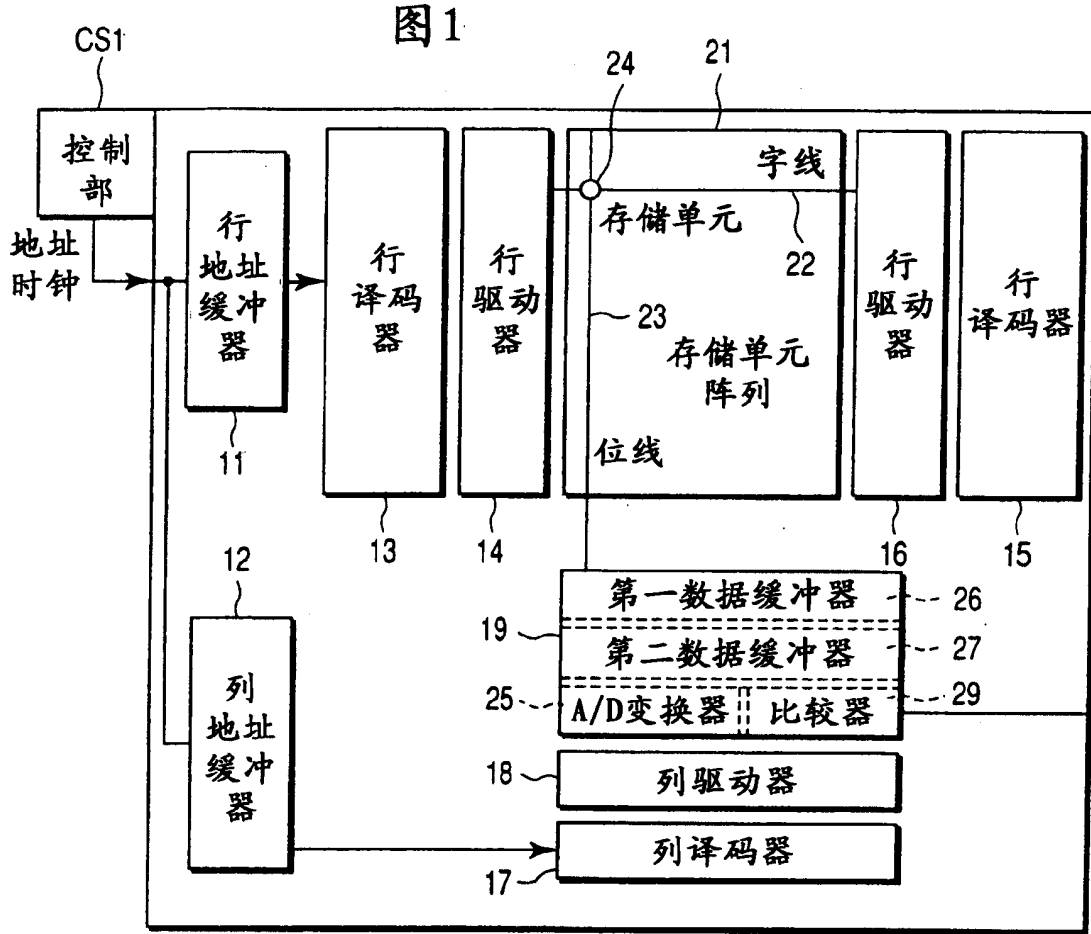


图3

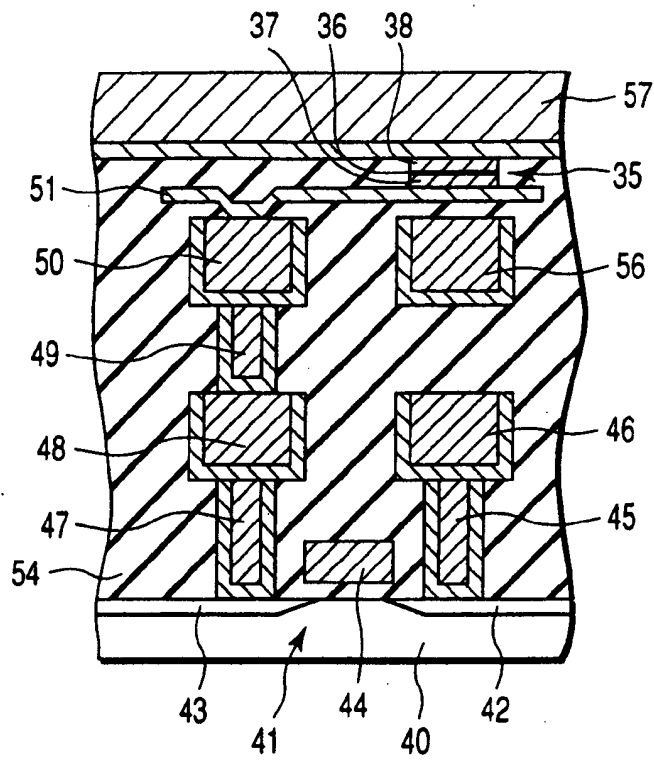


图4

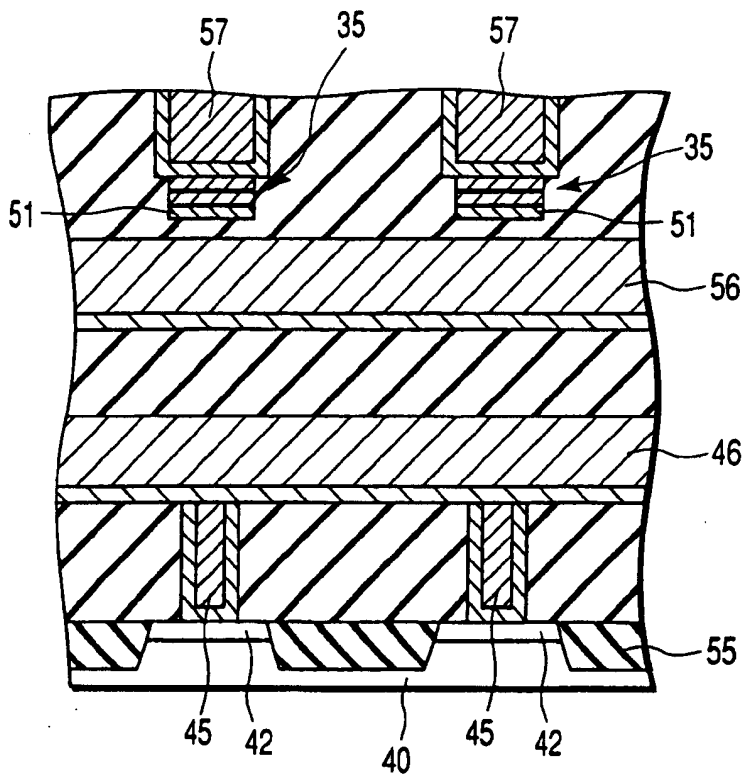


图5

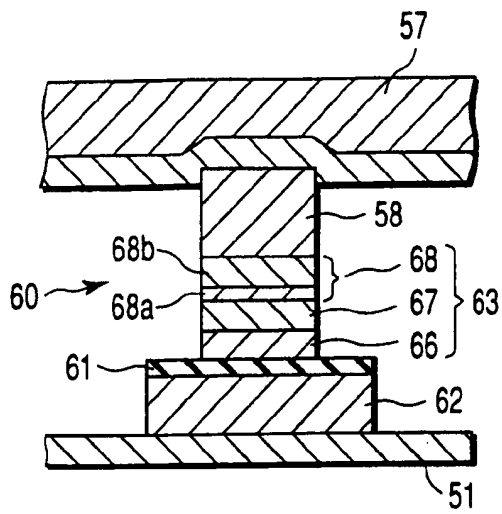


图7

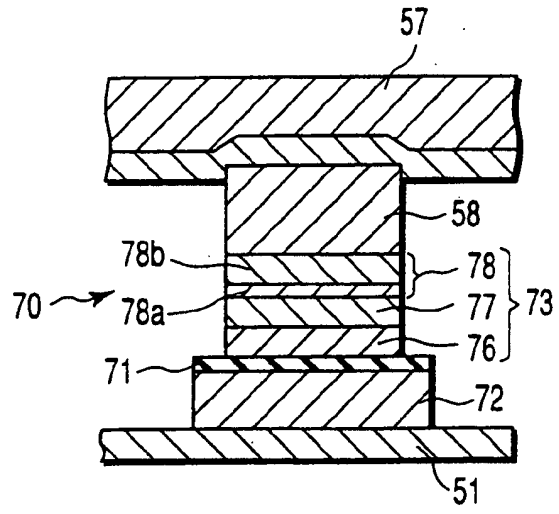


图6A

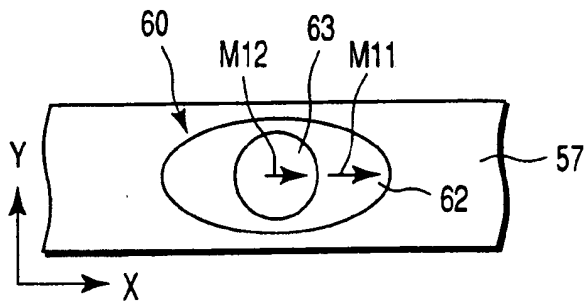


图8

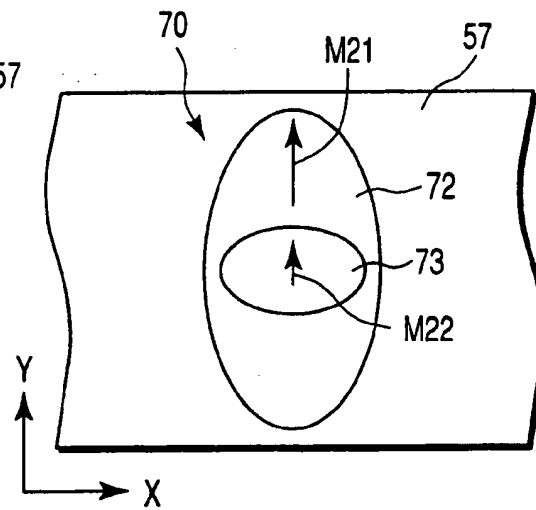


图6B

