[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
H01L 43/08
G11C 11/15

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02120599.X

[45] 授权公告日 2005 年 9 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 1221043C

[22] 申请日 2002.3.19 [21] 申请号 02120599.X
[30] 优先权
[32] 2001.3.19 [33] JP [31] 078471/2001
[71] 专利权人 佳能株式会社
地址 日本东京
[72] 发明人 西村直树
审查员 高 伟

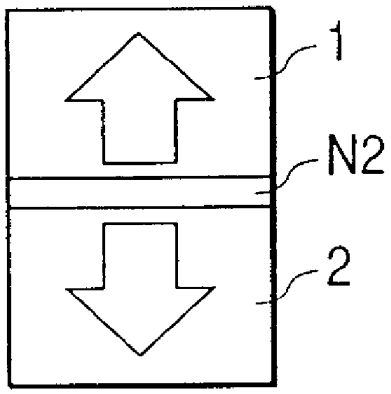
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 王以平

权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 9 页

[54] 发明名称 磁阻元件以及使用该元件的磁性随机访问存储器

[57] 摘要

本发明涉及磁阻元件以及使用该元件的磁性随机访问存储器，其目的是为了抑制存储层的转换磁场的偏转，作为存储器元件所使用的磁阻元件上的钉轧层的静态磁场产生上述偏转。 磁阻元件由顺序固定的垂直于膜表面磁化的第一磁层(1)、绝缘层(N2)以及垂直于膜表面磁化的第二磁层(2)组成。 第二磁层(2)的矫顽力大于第一磁层(1)的。基于通过绝缘层(N2)流过第一磁层(1)和第二磁层(2)之间的电流而产生的阻抗依赖于第一磁层(1)和第二磁层(2)之间的相对磁化角而变化。 在该磁阻元件中，第二磁层施加到第一磁层(1)上的磁场被设置为小于第一磁层(1)的矫顽力。



ISSN1008-4274

知识产权出版社出版

1. 一种磁阻元件，包括下述结构：一个垂直于膜平面而磁化的第一磁层和一个垂直于膜平面而磁化的第二磁层和夹在两者之间的一层非磁层，所述第二磁层的矫顽力比第一磁层的矫顽力大，

其中第二磁层施加到第一磁层的磁场小于第一磁层的磁化饱和磁场，以及其中剩余磁化强度M,膜厚度h，第二磁层长度L，第一磁层的磁化饱和磁场Hs满足：

$$M \times h / (75 \times L + 2.6) < Hs。$$

2. 一种如权利要求1所述的元件，其特征在于第二磁层由亚铁磁性膜构成。

3. 一种如权利要求1所述的元件，其特征在于第一和第二磁层均是由亚铁磁性膜构成。

4. 一种如权利要求1所述的元件，其特征在于第二磁层的磁化是固定在相同方向上的。

5. 一种如权利要求1所述的元件，其特征在于第一磁层的磁化饱和磁场Hs不超过200Oe。

6. 一种如权利要求1所述的元件，其特征在于第二磁层的膜厚度为2nm至100nm的范围内。

7. 一种如权利要求2所述的元件，其特征在于第二磁层由亚铁磁性膜按照补偿构成所构成。

8. 一种如权利要求7所述的元件，其特征在于第二磁层由稀土铁族元素合金亚铁磁性膜构成，而且稀土元素在亚铁磁性膜构成中的含量落在补偿构成周围±2.6原子%的范围内。

9. 一种如权利要求1所述的元件，其特征在于第二磁层的饱和磁化强度不超过100 emu／cc。

10. 一种如权利要求2所述的元件，其特征在于亚铁磁性层由来自于包括Gd、Tb、Dy的稀土元素组中的至少一种以及由来自于Fe和Co构成的组中的至少一种铁族元素所组成。

11. 一种存储器元件，包括：

包括下述结构的磁阻元件：一个垂直于膜平面而磁化的第一磁层和一个垂

直于膜平面而磁化的第二磁层和夹在两者之间的一层非磁层，所述第二磁层的矫顽力比第一磁层的矫顽力大，其中第二磁层施加到第一磁层的磁场小于第一磁层的磁化饱和磁场，以及其中剩余磁化强度 M,膜厚度 h，第二磁层长度 L，第一磁层的磁化饱和磁场 Hs 满足：$M\times h/(75\times L+2.6)<Hs$；以及

产生垂直于所述磁阻元件的膜表面的磁场的磁场产生装置，

其中通过使用所述的磁场产生装置将信息记录到所述的磁阻元件上。

12. 一种磁性随机访问存储器，包括:

一个基片;

在所述基片上成矩阵形式排列的多个存储器元件，其中所述存储器元件包括：包括下述结构的磁阻元件：一个垂直于膜平面而磁化的第一磁层和一个垂直于膜平面而磁化的第二磁层和夹在两者之间的一层非磁层，所述第二磁层的矫顽力比第一磁层的矫顽力大，其中第二磁层施加到第一磁层的磁场小于第一磁层的磁化饱和磁场，以及其中剩余磁化强度 M,膜厚度 h，第二磁层长度 L，第一磁层的磁化饱和磁场 Hs 满足：$M\times h/(75\times L+2.6)<Hs$；以及产生垂直于所述磁阻元件的膜表面的磁场的磁场产生装置，其中通过使用所述的磁场产生装置将信息记录到所述的磁阻元件上;

分别与所述多个存储器元件中相应一个元件的终端连接的多个位线;

与所述位线交叉并且用作所述磁场产生装置以用来向所述存储器元件提供磁场的多个写线;

分别连接到所述多个存储器元件中相应一个元件的另一个终端的多个存储器元件选择转换元件；以及

多个读出放大器，每个放大器具有一个和所述多个位线中相应一个位线相连的终端，并检测所述存储器元件的阻抗值，

其中信息通过来自所述写线和位线的磁场而被记录下来，并且

通过向位线提供一个电压并且将所述存储器元件的阻抗值输入到所述读出放大器上，对信息进行再现。

13. 根据权利要求 12 所述的磁性随机访问存储器，其特征在于：通过对所述存储器元件的阻抗值和输入到所述读出放大器的另一端的参照值进行比较，对信息进行再现。

磁阻元件以及使用该元件的磁性随机访问存储器

技术领域

本发明涉及一种适用于永久存储器以及类似设备的磁阻元件，以及一种使用该磁阻元件的MRAM（磁性随机访问存储器）。

背景技术

近来，通过使用磁阻效应用于存储信息的磁性存储元件由于其高密度、高响应、永久性固态存储器元件的性质而引起了注意。MRAM作为使用磁性存储器元件的存储设备而吸引了注意。磁性存储器元件通过磁化磁层的方向来储存信息，并能构成用来半永久保存信息的永久存储器。MRAM可以被用来作为诸如便携式终端或插件的信息存储元件的不同类型存储器。尤其是当带有一个磁性存储器元件的MRAM使用旋转隧道磁阻（TMR）效应的时候，可以通过TMR效应实现高输出特征。这种MRAM也允许高速读取，并且其实际应用也即将实现。

一个磁性存储器元件可以具有一种包括存储层和参照层的结构。通常，参照层是一个磁化方向被固定或定位于一个特定方向的磁材料层。该存储层是一个用来存储信息的层，并且通常是一种可以通过外加一个磁场来改变其磁化方向的磁性层。该存储器元件的逻辑状态是通过其存储层内的磁化方向是否与参照层内的磁化方向一致来决定的。如果由于MR（磁阻）效应而使得这些磁化方向彼此平行的话，磁存储器单元的阻抗减小，如果这些方向不平行的话，例如反平行，存储器单元的阻抗就会增加。通过测量阻抗来确定存储器单元的逻辑状态。

通过在导体中流过的电流而产生的磁场使得在存储层内部的磁化方向发生变化，信息就能够被写入到MRAM的存储单元中去。通过使用一种检测电阻的绝对值的绝对探测方式或者是通过改变读取的检测层的磁化方向的微分检测方法，读出写入的信息。

在高集成的条件下，存储器元件的物理尺寸必须缩小。通常在一个纵向磁

化层当中，由于膜表面上的退磁区域与小型化，自旋会在膜边缘部分卷曲。存储器元件就不能够稳定地存储磁信息。为了防止这一问题的出现，本发明人在U.S.P.第6,219,725中披露了一种使用被垂直于膜表面而磁化的磁膜（垂直磁膜）的MR元件。这种垂直磁膜即便是小型化也不会卷曲。当这种膜被用作存储器元件，就可以有效地减小物理尺寸以便提高MRAM的密度。

MR元件包括两个通过一非磁性层而叠置的磁性层。一个磁性层所漏出的杂散磁场被施加到另外一磁性层上。该杂散磁场在外加磁场不存在的情况下都一直存在。

图14A和14B显示了带有一个垂直磁膜的TMR元件的磁化方向。一个磁性层100和一个比磁性膜100具有更高矫顽力的磁性膜200通过一个非磁性膜300叠放在一起。在所有图14A以及14B所示的实例中，磁性膜200都是向下磁化。磁性膜100在图14A中向下磁化，在图14B中向上磁化。磁性膜200是一个通常都向下磁化的钉轧层。“0”表示图14A的状态，“1”表示图14B的状态。

图15A显示了该元件的MH曲线（曲线显示了磁化强度和外加磁场之间的关系），这是基于这样一个假设：没有任何杂散磁场从矩形比为1的磁性膜中渗漏。由于磁性膜200（钉轧层）的磁化方向不能改变，所以阻抗就随着磁性膜100（存储器层）的磁化方向而改变。当不存在偏转磁场的时候，只有当外加磁场H1或H2等于矫顽力Hc的时候，信息才能够被写到存储层上去。磁场H1将磁性膜100从向上的方向变化称为向下的方向。磁场H2将磁性膜100从向下的方向变化称为向上的方向。

在实践当中，磁性膜200（钉轧层）给磁性膜100（存储器层）提供一个向下的磁场。如图15B所示，MR曲线受到了一个偏转磁场的影响。这时，记录磁场是H2=Hc+Ho，H1=Hc－Ho。从图14B所示的状态转换到图14A的状态所需的磁场减少Ho。相反，从图14A所示的状态转换到到图14B的状态所需的磁场增加Ho。图15B显示了这时的磁场强度曲线。曲线显示了流过写线的电流值依据重写磁化方向而变化的情况。电流消耗提高，或者是当电流超过允许的写入线布线的电流密度的时候，写入操作就失败。这时，转换磁场的强度依据写入到存储器单元上的信息的变化而变化。如果需要转换磁场H2的存储器单元在通过两个正交写入线而形成的矩阵排列的存储器单元中重新写入记录信息，需要转换磁场H1的邻近存储器单元信息也会被重写。这样的错误记录操作经常会发生。如果如图15C所示的，当偏转磁场Ho变化到比矫顽力Hc还大的时候，仅有一个阻抗值能够在零磁场内被取得。这使绝对检测变得困难

起来。

当矩形比不是1的时候，如图16A以及16B所示，在零磁场区域中的阻抗值M2就会比反平行磁场状态下的最大磁场强度值Mmax的值要小。阻抗值的大小也依赖于低矫顽力层下的磁场强度。这个时候，读出的阻抗值差 M2-M1 下降，从而降低了检测灵敏度。矩形比不是1的存储器元件会受到来自偏转磁场更大的影响。即使在偏转磁场Ho小于矫顽力Hc的时候这种现象也会发生。注意到M1表示在不存在外部磁场时的最小阻抗值;M2表示在不存在外部磁场时的最大阻抗值。图16A显示了当偏转磁场Ho出现的时候阻抗值的情况，图16B显示了当偏转磁场Ho不出现的时候阻抗值的情况。

对于矩形比非1的情况，如图16B所示，即使施加一个在强度上等于矫顽力的磁场，也不能完全使磁化饱和。一个能够完全是磁化饱和M=Ms的磁场被称为磁化饱和磁场Hs。当存储器层完全饱和至与钉轧层反平行的时候，阻抗值相对于磁场最大化为一个常数值。也就是说，如图16B所示，使阻抗值饱和的磁场等于Hs。当矩形比是1的情况，矫顽力可以被认为等于磁化转换磁场。对于矩形比不是1的情况，矫顽力就不可以被认为等于这个磁场。这时，必须通过施加一个大于矩形比是1的磁场的磁场来进行磁化的转换。当由杂散磁场所形成的偏转磁场出现的时候，在磁化方向易于转换与难于转换的磁化方向之间的转换磁化的磁场强度差值就会变大。如果这样的元件被用来作为MRAM的存储器元件的话，上述的错误操作就很可能经常发生。当磁化转化磁场并不被作为MRAM的存储器元件的磁阻元件的使用所控制的时候，故障就会出现。

发明内容

本发明的一个目的就是要解决被用作存储器元件或者类似物的磁阻元件中，自一个磁层的静态磁场偏转另外一个磁层的转换磁场问题，并且提供一种使用该磁阻元件的存储器元件以及其记录/再现方法。

根据本发明，上述目的是通过一个这样的磁阻元件实现的，该磁阻元件包括下述结构：一个垂直于膜平面而磁化的第一磁层和一个垂直于膜平面而磁化的第二磁层和夹在两者之间的一层非磁层，所述第二磁层的矫顽力比第一磁层的矫顽力大，其中第二磁层施加到第一磁层的磁场小于第一磁层的磁化饱和磁场，以及其中剩余磁化强度M,膜厚度h，第二磁层长度L，第一磁层的磁化饱和磁场Hs满足：

$$M \times h / (75 \times L + 2.6) < Hs。$$

本发明还提供一种存储器元件，包括：包括上述结构的磁阻元件；以及产生垂直于所述磁阻元件的膜表面的磁场的磁场产生装置，其中通过使用所述的磁场产生装置将信息记录到所述的磁阻元件上。

本发明还提供一种磁性随机访问存储器，包括：一个基片；在所述基片上成矩阵形式排列的上述多个存储器元件，分别与所述多个存储器元件中相应一个元件的终端连接的多个位线；与所述位线交叉并且用作所述磁场产生装置以用来向所述存储器元件提供磁场的多个写线；分别连接到所述多个存储器元件中相应一个元件的另一个终端的多个存储器元件选择转换元件；以及多个读出放大器，每个放大器具有一个和所述多个位线中相应一个位线相连的终端，并检测所述存储器元件的阻抗值，其中信息通过来自所述写线和位线的磁场而被记录下来，并且通过向位线提供一个电压并且将所述存储器元件的阻抗值输入到所述读出放大器上，对信息进行再现。

通过下文参照附图对本发明优选实施例进行详细的说明，本发明的上述和其他目的、特征和优点将变得更加清楚。

附图说明

图 1A 及 1B 显示了根据本发明的第一个实施例的磁阻元件的剖视图；

图 2A 及 2B 显示了使用稀土铁族合金作为第二磁层的磁阻元件的剖面视图；

图 3 显示了稀土铁族合金以及饱和磁化强度的组合间的相互关系；

图 4 显示了从一个正交磁化膜泄露出的杂散磁场与元件尺寸之间的相互关系；

图 5 显示了稀土铁族合金以及饱和磁化的组合间的相互关系；

图 6A 及 6B 显示了一个存储器单元的基本结构；

图 7 显示了一个带有半导体元件的混合存储器单元的基本结构；

图 8 显示了一个基于本发明的磁阻元件的杂散磁场分布；

图 9 显示了另外一个基于本发明的磁阻元件的杂散磁场分布；

图 10 显示了一个基于本发明的磁阻元件的杂散磁场的使用状态示意图；

图 11 显示了一个使用常规纵向磁化膜的磁阻元件的杂散磁场的使用状态示意图；

图 12 显示了一个使用常规纵向磁化膜的磁阻元件的杂散磁场分布图；

图 13 显示了另外一个使用常规纵向磁化膜的磁阻元件的杂散磁场分布图；

图 14A 及 14B 显示了磁阻元件的结构剖面图;

图 15A、15B 及 15C 显示了当矩形比为 1 时在 MR 曲线上的偏转磁场;

图 16A 及 16B 显示了当矩形比不为 1 时在 MR 曲线上的偏转磁场; 以及

图 17 显示了磁阻元件作为存储器元件按照 4×4 矩阵排列的等效电路图。

具体实施方式

本发明的优选实施例将在下面参照附图被进一步的说明。

(第一实施例)

图 1A 及 1B 显示了根据本发明的第一个实施例的磁阻元件膜结构的剖视图。在图 1A 以及 1B 中, 箭头指示了磁层中的磁化方向。图 1A 及 1B 显示了磁阻元件的两个预期磁化状态。

如图 1A 以及 1B 所示, 一个垂直于膜表面磁化的第一磁层 1, 一个诸如绝缘层 N2 这样的非磁层, 以及一个垂直于膜表面磁化的第二磁层 2 按照列举顺序排列。绝缘层 N2 要有足够的厚度以便在磁层 1 和 2 之间穿过绝缘层 N2 的隧道电流能够通过。第二磁层 2 的矫顽力(磁化饱和磁场)比第一磁层 1 的矫顽力大。根据第一磁层 1 和第二磁层 2 的相对磁化角度变化, 通过绝缘层 N2 在第一磁层 1 和第二磁层 2 之间的电流的阻值大小也随之变化。进一步说, 第一磁层 1, 绝缘层 N2, 第二磁层 2 组成了一个铁磁性的隧道结。在磁层 1 和 2 内的传导电子在穿过绝缘层 N2 同时仍保持其旋转。隧道有可能依赖于两个磁层 1 和 2 的磁化状态的变化而变化。这被作为隧道阻抗的变化来进行检测。当磁层 1 和 2 的磁化状态是彼此平行的时候, 该阻抗值较小, 当他们彼此不平行的时候该阻抗值较大。这样的磁阻元件能够通过将非磁层用导体来替代从而构成一个 GMR 元件。

在记录/再现的时候, 第二磁层 2 总是沿相同的方向进行磁化, 比方说向下的方向。第一磁层 1 则是根据记录信息或者向上或者向下被磁化。

记录信息通常是由第一磁层的磁化方向来决定的。第一磁层在图 1A 中被向下磁化, 而在图 1B 中则是向上。这些方向可以与二进制的存储级“0”和“1”相对应。这些状态可以被电流方向所控制, 该电流经过绝缘膜、穿过位于存储器元件附近的写线以形成一个垂直于膜表面的磁场。该电流方向改变外加磁场的方向。为了读出记录的信息, 电流按照产生磁阻效应的方向流动。例如, 对于一个 TMR 元件, 电流通常是垂直于膜表面流动的。元件阻抗值依据第一和第

二磁层的磁化方向变化，尤其是依据铁族元素元件的磁化方向在这些磁层之间是否平行或反平行而变化。测量元件阻抗值，并且计算它与一个参照阻抗值的差值，从而读出所记录的数据。

第二磁层是垂直磁化膜，是由诸如亚铁磁性材料制成的。一种由稀土铁族合金组成的亚铁磁性层作为第二磁层 2 的情况将在下面参照图 2A 和 2B 进行说明。在图 2A 和 2B 中，每一个实心箭头都显示了铁族元素的亚晶格磁化方向，每一个虚线箭头都指示了稀土元素的亚晶格磁化的方向。第二磁层 2 的构成被设置为一个补偿构成。即，稀土元素的亚晶格磁化强度几乎等于铁族元素的磁化强度。图 3 显示了稀土铁族合金中的稀土元素的成分和饱和磁化 Ms 之间的关系。如图 3 所示，稀土铁族成分的磁化依赖于稀土元素的数量而变化。整个第二磁层 2 的磁化由亚晶格磁化的差别来决定。这样，第二磁层 2 的磁化强度就能够令人满意的减小。磁层所形成的磁场强度与磁化强度成比例。结构接近于补偿构成的稀土铁族元素合金膜的使用能够有效地降低从第二磁层 2 泄漏到第一磁层 1 上的杂散磁场。磁阻效应的阻抗变化值主要依赖于铁族元素的亚晶格磁化强度而变化。整个磁化强度能够在不减小铁族元素的亚晶格磁化的前提下被降低。因此，偏转磁场能够在不降低抗磁阻效应的前提下被令人满意的降低。

用作第二磁层2的一种磁层具体材料的例子可以是具有较高矫顽力的TbFe，TbFeCo，DyFe 以及 DyFeCo。用作第一磁层 1 的一种磁层具体材料的例子可以是矫顽力能够被降低的的 GdFe 以及 GdFeCo。

如上所述，第一实施例中的第二磁层 2 采用了一种其饱和磁化 Ms 可以通过将稀土铁族元素合金的构成设置为补偿构成而减小的一种膜。这也提高了转换磁场。磁阻元件可以将第二磁层用作一个钉轧层，这样便于绝对检测并能够减小杂散磁场。垂直磁化膜的矫顽力能够很容易地被调整到几个 kOe 或更多。和纵向磁化膜不同，通过合适地选择磁层材料，不固定使用一种抗铁磁性膜，可以形成高矫顽力层。第一实施例的磁阻元件可以获得一个预期的特性，其结构简单而无须使结构复杂化。

第一实施例可以降低第二磁层的饱和磁化，可以降低泄漏到第一磁层的杂散磁场，还可以降低偏转磁场。第二磁层是由稀土铁族元素合金膜组成，并且其构成被设置成为补偿构成。这能够降低杂散磁场并且能够提高矫顽力。第二磁层最好用作需要高矫顽力的钉轧层。

（第二实施例）

表1显示在没有外加磁场情况下的以奥斯特（Oe）单位和米每安培（A/m）单位计量的一个杂散磁场H，该杂散磁场在位于垂直磁化膜中心距离上表面为Z的位置上垂直于膜表面，该垂直磁化膜厚度为h（nm），长度为L（μm），宽度为L（μm），以及磁化强度（剩余磁化强度）M。杂散磁场增加，由于较小长度（=宽度）L，较大膜厚度，或较大M。在表1中，“z=1.5nm”是用在MRAM中的旋转隧道膜的膜厚度的表示值。该膜厚度位于标准膜厚范围内。表1中的数值被看作是在z=0.5nm到z=3nm的范围内的值。

[表1]

			Ms=10emu/cc		Ms=20emu/cc		Ms=40emu/cc	
h(nm)	L(衬)	Z(nm)	H(Oe)	H(A/m)	H(Oe)	H(A/m)	H(Oe)	H(A/m)
20	0.1	1.5	22	1751	44	3502	87	6923
20	0.2	1.5	12	955	24	1910	48	3820
20	0.3	1.5	8	637	16	1273	33	2626
20	0.4	1.5	6	477	12	955	25	1990
20	0.5	1.5	5	398	10	798	20	1592
30	0.1	1.5	29	2308	57	4536	114	9072
30	0.2	1.5	17	1353	35	2785	70	5571
30	0.3	1.5	12	955	24	1910	49	3899
30	0.4	1.5	9	716	18	1432	37	2944
30	0.5	1.5	7	557	15	1194	30	2387
40	0.1	1.5	33	2626	65	5173	131	10425
40	0.2	1.5	22	1751	44	3502	89	7083
40	0.3	1.5	16	1273	32	2547	63	5014
40	0.4	1.5	12	955	24	1910	49	3699
40	0.5	1.5	10	796	20	1592	39	3104

用Oe单位表示杂散磁场H，并且M/H × h被表示为L，如图4所示。它们之间的关系由下面的等式给出

$$M/H \times h = 75 \times L + 2.6 \quad (1)$$

杂散磁场H（Oe）可以由下式给出

$$H = M \times h / (75 \times L + 2.6) \quad (2)$$

设Π为循环常数，用A/m单位表示杂散磁场

$$H = 250 \times M \times h / (\Pi \times (75 \times L + 2.6)) \quad (2)'$$

考虑到磁阻元件作为一个MRAM的存储器元件，偏转磁场必须要小于第一磁层1的磁化饱和磁场。这一点在通过绝对检测方式读出信息的时候尤其必要。磁化饱和磁场的强度等于或大于矫顽力。设M为第二磁层2在等式（2）中的剩余磁化强度（emu／cc），h为膜厚度（nm），L为元件长度（μm），第一磁层的磁化饱和磁场Hs（Oe）最好满足

$$M \times h / (75 \times L + 2.6) < Hs \quad (3)$$

用A／m单位表示的磁化饱和磁场为

$$250 \times M \times h / (\Pi \times (75 \times L + 2.6)) < Hs \quad (3)'$$

（第三实施例）

当第三实施例中的磁阻元件被用作MRAM的存储器元件的时候，第一磁层被用作是检测层，第二磁层被用作存储层。通过改变高矫顽力层的磁化方向来写入信息。在读出的时候，仅有第一磁层的磁化被转换，阻抗值的变化被检测出来，差值被检测，进而再现信息。

如果通过使用一种亚铁磁性材料（后面说明）而使得尤其是高矫顽力层的磁化减少的话，磁化转换磁场就增加。大磁化转换磁场提高了转换磁化所必需的能量，例如，穿过写线的电流值。这种元件最好用来由一个磁层形成第二磁层，该磁层的磁化方向固定，并且用来在第一磁层上记录磁化信息。

（第四实施例）

除第一实施例中的磁阻元件的构成之外，诸如低矫顽力层的第一磁层的矫顽力（磁化饱和磁场）被检测。第一磁层1的大矫顽力提高了用来在MRAM所使用的磁阻元件上写入所必需的电流。具体的矫顽力至少是2000e（1.59×10^4A/m）或者为了消费者使用而更小。从能量消耗的角度来看，矫顽力是1000e（7.96×10^3A/m）或者更小，更好为500e（3.98×10^3A/m）或者更小，更好为200e（1.59×10^3A/m）或者更小，最好是100e（796A/m）或者更小。当用来作为MRAM的存储器元件的磁阻元件在有外加磁场的干扰的情况下使用的时候，由于在写

入邻近存储器元件时形成的磁场引起磁化波动。为了避免这种情况，矫顽力最好是5 Oe或者更大。

设M为用作高矫顽力层的第二磁层2的剩余磁化强度（emu／cc），h为膜厚度(nm)，L为元件长度（μm），第二磁层2，例如高矫顽力层最好进一步满足

$$M\times h/(75\times L+2.6)<200 \qquad (4)$$

（第五实施例）

作为第一实施例中的磁阻元件的结构的补充，用作高矫顽力层的第二磁层2的剩余磁化强度M（emu／cc）最好接近由等式（2）的进一步变换的等式（5）所确定的值

$$M=Hs/h\times(75\times L+2.6) \qquad (5)$$

其中，第二磁层的磁场膜厚度为h（nm），元件长度为L（μm），Hs（Oe）为第一磁层1的磁化饱和磁场。

为了用A/m单位表示第一磁层1的磁化饱和磁场Hs，等式（5）可以进一步被改写为

$$M=\Pi\times Hs/(250\times h\times(75\times L+2.6)) \qquad (5)'$$

第二磁层的膜厚度h最好在2nm到100nm之间变动。这是由于如果膜厚度小于2nm的话，磁化将难于稳定保持。当膜厚度大于10nm时，允许的磁化值下降，无法保证结构余量。诸如难以腐蚀这样的处理过程的问题就会很容易发生。从这些可以看出，膜厚度最好是80nm或更小，最好是50nm或更小。

第二磁层的膜厚度最好在2nm到50nm之间变动。表2给出了当元件长度L从0.1μm、0.2μm、0.3μm、0.4μm以及0.5μm中选择，第二磁层2的膜厚度h从2nm、5nm、10nm、20nm、30nm、40nm以及50nm中选择，以及第一磁层的矫顽力Hc从50e（398A／m）、100e（796A/m）、200e（1.59×10^3A/m）以及500e（3.98×10^3A/m）中选择的时候，高矫顽力层的膜厚度以及第二磁层2的剩余磁化强度M（emu／cc）值。

[表2]

L	h	H	M	H	M	H	M	H	M
μm	nm	Oe	emu/cc	Oe	emu/cc	Oe	emu/cc	Oe	emu/cc
0.1	2	5	25	10	51	20	101	50	253
0.2	2	5	44	10	88	20	176	50	440
0.3	2	5	63	10	126	20	251	50	628
0.4	2	5	82	10	163	20	326	50	815
0.5	2	5	100	10	201	20	401	50	1003
0.1	5	5	10	10	20	20	40	50	101
0.2	5	5	18	10	35	20	70	50	176
0.3	5	5	25	10	50	20	100	50	251
0.4	5	5	33	10	65	20	130	50	326
0.5	5	5	40	10	80	20	160	50	401
0.1	10	5	5	10	10	20	20	50	51
0.2	10	5	9	10	18	20	35	50	88
0.3	10	5	13	10	25	20	50	50	126
0.4	10	5	16	10	33	20	65	50	163
0.5	10	5	20	10	40	20	80	50	201
0.1	20	5	3	10	5	20	10	50	25
0.2	20	5	4	10	9	20	18	50	44
0.3	20	5	6	10	13	20	25	50	63
0.4	20	5	8	10	16	20	33	50	82
0.5	20	5	10	10	20	20	40	50	100
0.1	30	5	2	10	3	20	7	50	17
0.2	30	5	3	10	6	20	12	50	29
0.3	30	5	4	10	8	20	17	50	42
0.4	30	5	5	10	11	20	22	50	54
0.5	30	5	7	10	13	20	27	50	67
0.1	40	5	1	10	3	20	5	50	13
0.2	40	5	2	10	4	20	9	50	22
0.3	40	5	3	10	6	20	13	50	31
0.4	40	5	4	10	8	20	16	50	41
0.5	40	5	5	10	10	20	20	50	50
0.1	50	5	1	10	2	20	4	50	10
0.2	50	5	2	10	4	20	7	50	18
0.3	50	5	3	10	5	20	10	50	25
0.4	50	5	3	10	7	20	13	50	33
0.5	50	5	4	10	8	20	16	50	40

如上所述，偏转磁场为 500e（3.98×10^3A/m）或者更小，更好为 200e

（1.59×10^3A/m）或者更小，更好是100e（796A/m）或者更小，最好是50e（398A/m）或更小。元件大小为了适应实用的永久存储器的积分等级最好为 0.3μm 或更小。如上所述，第二磁层的膜厚度最好为 2nm 或更大。膜厚度的下降减小了基于小型化的磁层值。磁化将会变得难于热稳定存储。因而，第二磁层的膜厚度最好是5nm或更多。

当 h=5nm，L=0.3μm或更小，同时H=200e或更小。当 h=10nm，最好是L=0.3μm或更小，同时H=200e或更小，更好的是L=0.1μm或更小，同时H=200e或更小，最好的是H=100e或更小。

考虑到这些，第二磁层2的磁化强度为100 emu/cc或更少，更好是50 emu/cc或更少，更好是20 emu/cc或更少，最佳是10 emu/cc或更少。

在上面的说明中，元件长度L表示磁阻元件的宽度和长度中较大的那一个。

（第六实施例）

图5显示了成分和用于饱和磁化的稀土铁族合金膜 $Gd_x(Fe_{1-y}Co_y)_{1-x}$（y=0.1到0.5）之间的相互关系。另外，当Gd浓度在补偿构成（在图5中大约为23.2%）附近或更大的浓度，作为 $Tb_x(Fe_{1-y}-Co_y)_{1-x}$ 和 $Dy_x(Fe_{1-y}Co_y)_{1-x}$ 饱和磁化强度将会因更高的稀土金属含量而提高。并且在补偿构成浓度或更小浓度时，反之亦然。如第四个实施例中所述，第二磁层2的磁化强度被设置较好为1000e或者更小，更好为500e或者更小，更好为200e或者更小，最好是100e或者更小。参照图5，带有这样的磁化强度的膜结构落在补偿构成周围 ±2.6 原子%，更好是 ±2.0 原子%，更好是 ±1.4 原子%，最好是 ±0.25 原子%。这种情况下，稀土亚晶格显性结构或者是铁族元素亚晶格显性结构都可以被使用。

（第七实施例）

前面所述的每一个实施例的磁阻元件都采用了一种用来形成垂直磁场的磁场形成装置。信息通过使用磁场形成装置被记录到磁阻元件上去。该磁阻元件可以作为存储器元件。例如，图6A和6B所示，写线900通过一个绝缘膜（未显示）被设置到磁阻元件的附近。绝缘膜被设置用来防止磁阻元件和写线之间的接触。由于在ON操作中没有旋转隧道效应产生，所以对于TMR元件来说，这一点尤为重要。写线900沿着与板表面垂直的方向延伸。在图6A中，一个电流向着板表面流动，用于将第一磁层1的磁化方向转换为向上。在图6B中，一个电流从板表面向前方流动，用于将第一磁层1的磁化方向转换为向下。以这种

方式，基于通过写线的电流方向，二进制信息可以记录到磁阻元件上。

当存储器由这样的磁阻元件构成的时候，形成磁阻元件的存储器元件成矩阵排列。最好设置一个转换元件以防止存储器元件之间的串扰。

图7示意性显示了一个带有转换元件的1位存储器单元的断面图。实际上，在图7中，同样的存储器单元在横向和深度方向对齐，从上方观察即为矩阵形式。

在图7中，磁阻元件的一个终端连接到了位于由栅极80构成的MOSFET（金属氧化物半导体场效应晶体管）内的漏极区31，以及位于硅半导体P型基底33上的n^+型源极和漏极区域32以及31上。磁阻元件的另外一个终端连接到读出线40上。

当写入／擦除记录信息的时候，电流流过沿垂直于板表面方向延伸的写线900并且位线40沿着板表面方向延伸。因此，信息能够被记录到位于这些线的交叉点处的磁阻元件（存储器单元）上。连接到源极区域32的电极70接地。电流源以及读出电路分别设置在读出线40的左右两侧。因而将对应于磁阻元件的阻抗值的电势施加到读出电路上，从而检测信息。在第七实施例中，写线就设置在元件的旁边。然而，由于磁场满足几乎垂直膜表面被施加，写线也可以设置在相对于存储器元件的基片一侧或者是对着基片的一侧。尽管将写线设置在元件旁边能够大大提高电流效率，但是依据制造方法更好还是将其设置在基片侧。垂直于膜表面的磁场可以通过来自于连接到邻近存储器元件上的位线所产生的磁场产生。

（第八实施例）

图8和图9显示了一个0.2μm的垂直磁化膜以及垂直于磁场膜表面而形成的模拟杂散磁场分布情况。进一步说，如图10所示，从第二磁层2的磁化强度M中泄漏出的杂散磁场施加到第一磁层1上。作为杂散磁场，在第二磁层2上的1nm值被使用。

在图8中，粗实线1表示磁化强度为50 emu／cc时的模拟结果；粗实线2表示磁化强度为10 emu／cc时的模拟结果；细实线3表示磁化强度为5 emu／cc时的模拟结果；虚线4表示磁化强度为2 emu／cc时的模拟结果。上述每一种情况下，膜厚度都是50nm。

图9中，实线1表示膜厚度为50nm时的模拟结果；虚线2表示膜厚度为30nm

时的模拟结果。每种情况下，磁化强度都为 10 emu／cc。这些磁化强度和膜厚度可以很容易的通过由诸如 TbFe、GdFe、DyFe、DyFeCo、TbFeCo、或 GdFeCo 这样的稀土铁族合金垂直磁化膜来实现。

图 11 显示了一种状态，即来自钉轧层 12 的磁化强度 RM 的杂散磁场被施加到具有常规结构的纵向磁化膜上的存储器层 11 上。绝缘层 13 位于钉轧层 12 和存储器层 11 之间。图 12 显示了位于由 0.2nm 纵向磁化膜形成且平行于膜表面并位于膜表面上方 1nm 的杂散磁场的模拟分布情况。该模拟结果显示了结合垂直磁化膜而在端面产生的一个非常大的 14000e（111×10^3A/m）的磁场。图 13 显示了由 0.2nm×0.6nm 的常规磁化膜形成并平行于膜表面且位于膜表面上方 1nm 的杂散磁场的模拟分布情况。这种情况下，也会产生大约 10000e（79.6×10^3A/m）的磁场。图 13 和 12 所显示的纵向磁化膜厚度为 3nm 并且磁化强度为 1000emu／cc。在纵向磁化膜中，磁化转换由磁化方向上的旋转方式来决定。位于端面上的杂散磁场会大大影响磁化转换。例如，杂散磁场会增加偏转磁场。

垂直磁场膜以及纵向磁化膜基于上述结果进行比较后发现，2000e（15.9×10^3A/m）或更小的杂散磁场被施加到垂直磁化膜上，而 10000e（79.6×10^3A/m）或更大的杂散磁场被加到纵向磁化膜上。在垂直磁化膜上，可以通过设定膜厚度以及磁化强度的方式将杂散磁场的强度降低到 50 Oe（3.98×10^3A/m），并且可以进一步降低到 10 Oe（796A/m）或更小。这意味着依据本发明的磁阻元件的偏转磁场可以被减小。

通常，用于常规 TMR 元件的纵向磁化膜是由 NiFe、Co、或 Fe 构成的，其饱和磁化强度 Ms 大约为 800－1500emu/cc。在这样的膜中，磁化强度的下降通常会降低阻抗比。要在保持阻抗比的前提下降低偏转磁场是非常困难的。然而，在如稀土铁族合金这样的亚铁磁性材料中，可以很容易的在不降低阻抗比的前提下，将饱和磁化强度 Ms 降低到大约几十 emu/cc。磁铁的杂散磁场强度与饱和磁化强度 Ms 成比例。对于亚铁磁性材料，饱和磁化强度能够被降低，进而偏转磁藏能够被抑制。

（第九实施例）

图 17 显示了上述实施例中的磁阻元件作为存储器元件按照 4×4 矩阵排列的等效电路图。存储器元件的数量还可以更多。位线 BL1 到 BL4 彼此平行设置，写线 WL1 到 WL4 与位线相交并且彼此平行设置。写线被设置在这样的位置，在

该位置，一个几乎垂直于膜表面的磁场被提供给存储器元件。图 17 显示了 16 个存储器元件 R11 到 R44。每个存储器元件的一个终端连接到诸如晶体管 T11 到 T44 中相应一个的用来选择存储器元件的转换元件上。存储器元件的另外一个终端连接到相应的位线上。通过转换元件 Ts1 到 Ts4 中相应的一个，位线的一个终端与 SA1 到 SA4 中相应的一个相连。

下文将介绍这种 MRAM 的信息写入／读出方式。在写入时，电流脉冲施加到 WL1 到 WL4 中任意一个。有这样的电流所产生的磁场改变低矫顽力层的磁化，这样就记录下来“1”或“0”。如果在向 R23 记入信息的时候，电流脉冲施加到设置在 R23 旁边的 WL3，同样的磁场也会加载到 R13、R33 以及 R43 上。为了仅选择 R23 并且记录信息，当 WL3 在 R23 的面内方向上提供一个磁场的同时也给 BL2 施加一个电流脉冲。这一面内磁场与仅垂直于膜表面方向上所施加一个磁场的情况相比，即便是一个很小的磁场垂直提供给膜表面的情况下，也能够使得磁化转换很容易实现。这就是说，位线所提供的磁场作为一个辅助磁场。来自 WK3 以及 BL2 的磁场允许将信息仅仅记录在 R23 上。

下文将介绍读出信息。例如，为了从 R23 读出信息，相应的转换元件 T23 接通并且向 BL2 流入电流。R23 的阻抗值被检测并且被输入到读出放大器 SA2 的一个终端。SA2 的另一个终端接收一个预先的参照电势。R23 的阻抗值基于参照电势而被检测，从而实现信息的读出。

本实施例采用上述实施例所述的磁阻元件作为存储器元件。从高矫顽力层泄漏出的杂散磁场的影响非常弱。当信息按照上述方式读出的时候，位于“1”和“0”之间的阻抗差值能够提高，从而信息能够被精确读出。

图 1A

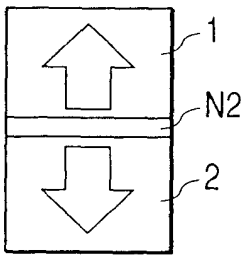


图 1B

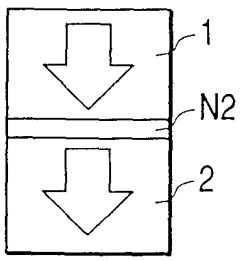


图 2A

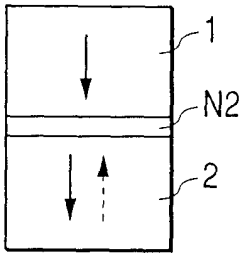


图 2B

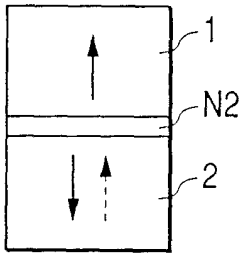


图 3

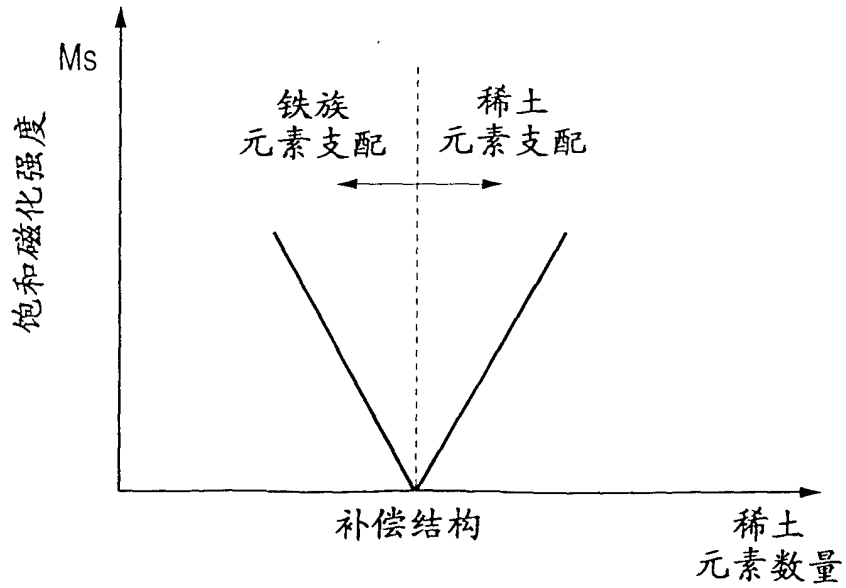


图 4

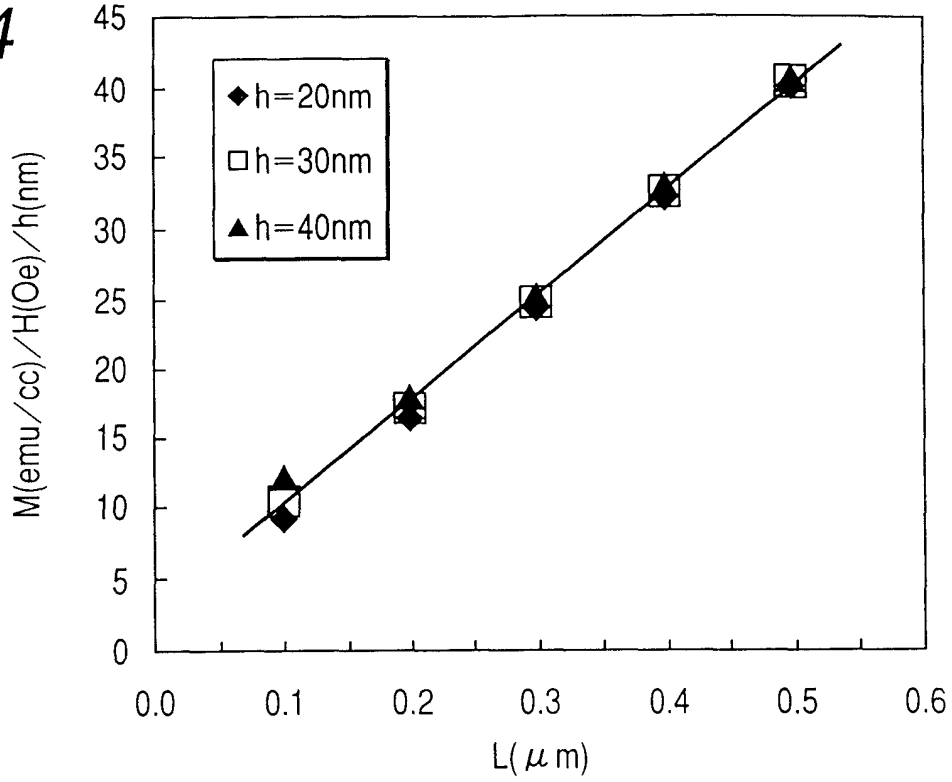

h=20nm
h=30nm
h=40nm
M(emu/cc)/H(Oe)/h(nm)
L(μm)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6

图 5

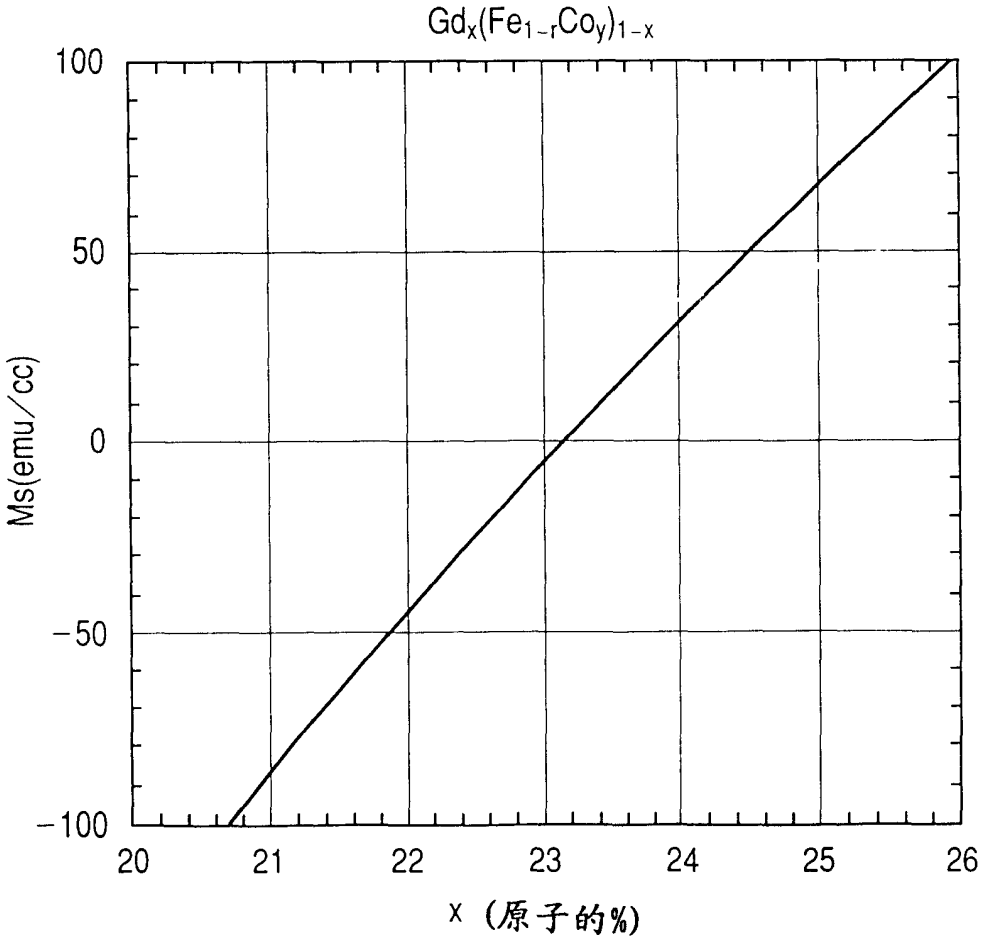

$Gd_x(Fe_{1-r}Co_y)_{1-x}$
Ms(emu/cc)
X (原子的%)
100
50
0
-50
-100
20
21
22
23
24
25
26

图 6A

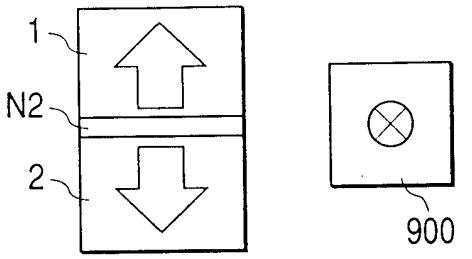


图 6B

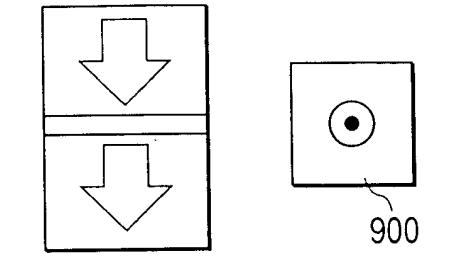


图 7

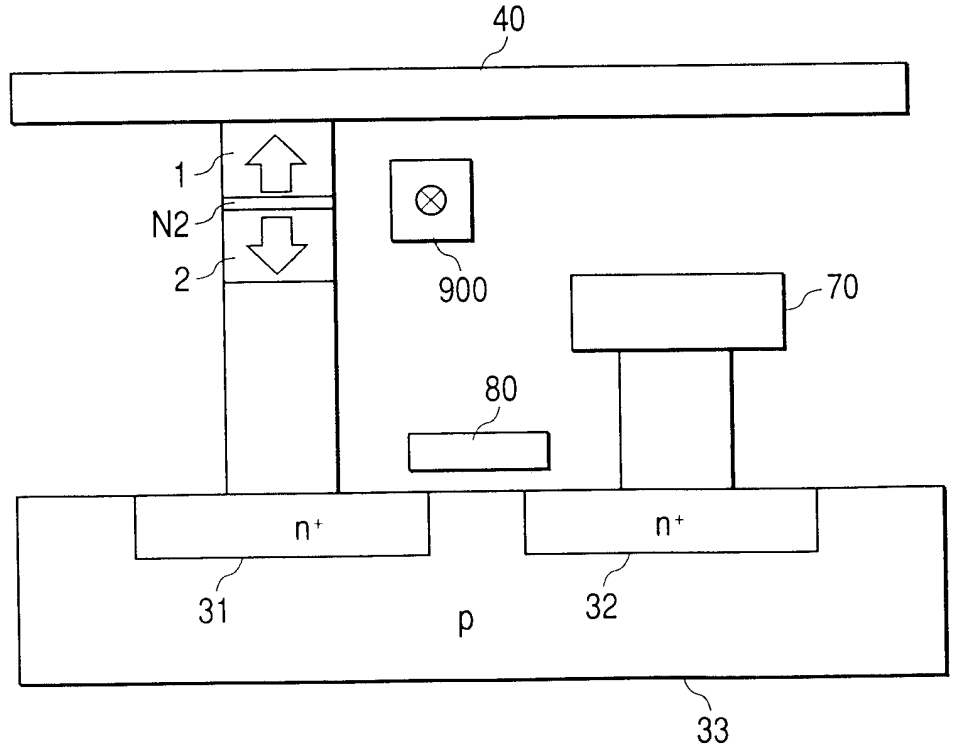


图 8

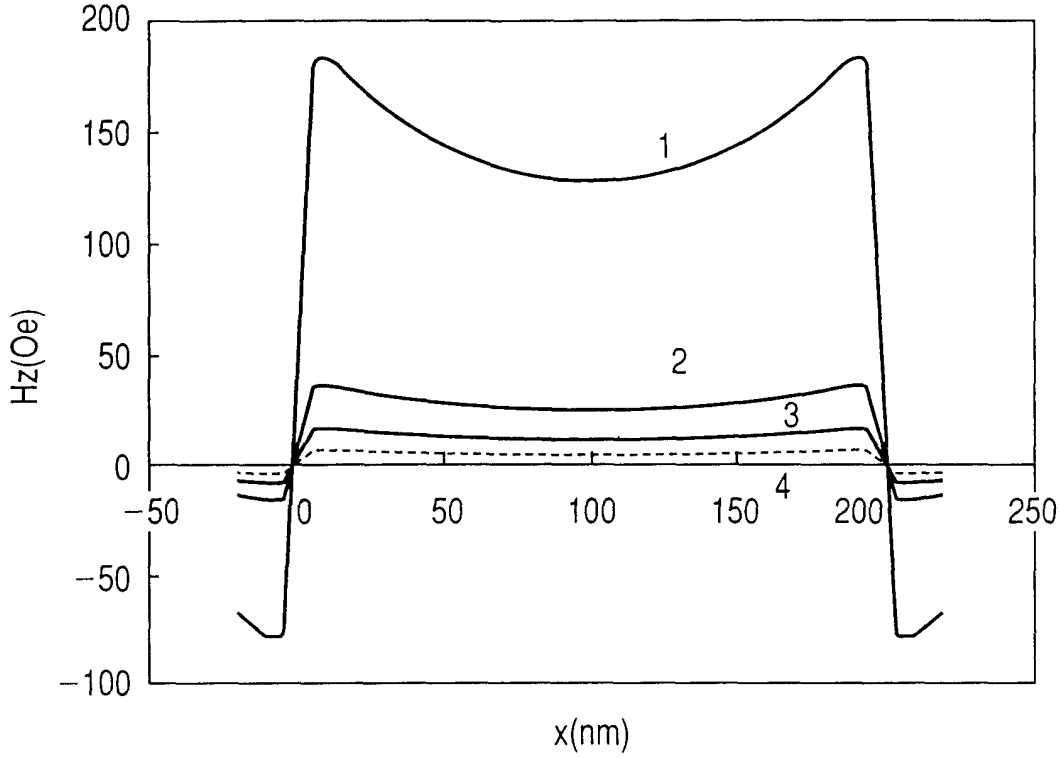

200
150
100
50
0
−50
−100
Hz(Oe)
−50
0
50
100
150
200
250
x(nm)
1
2
3
4

图 9

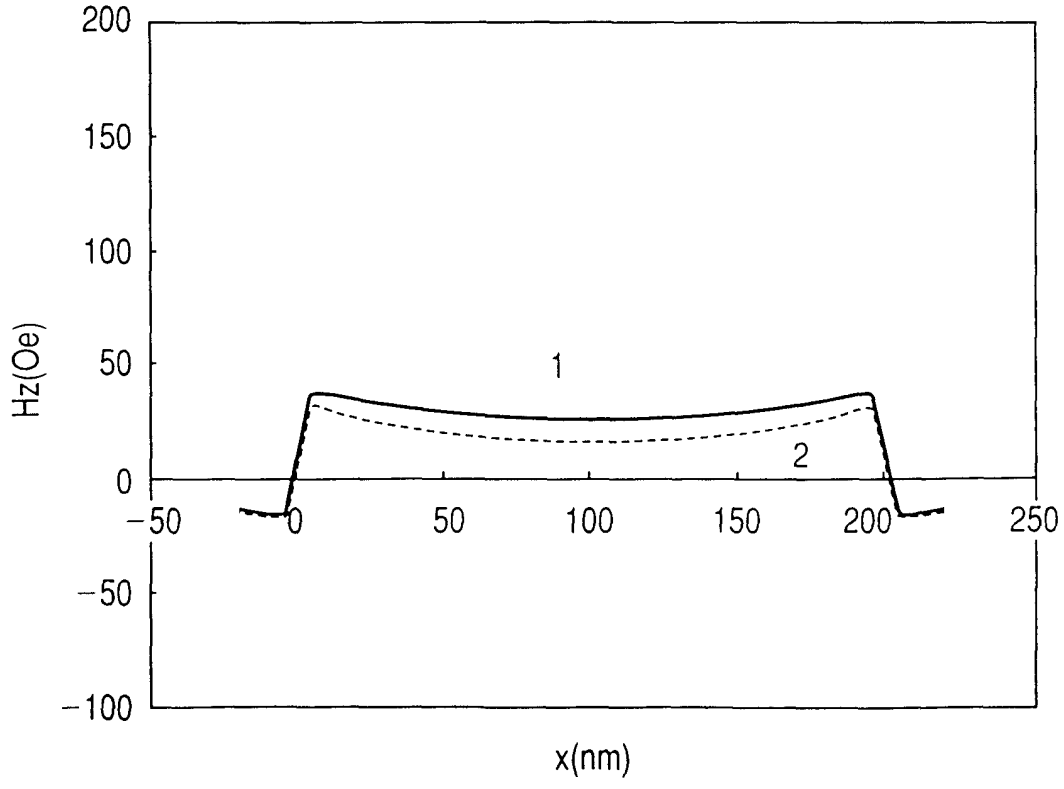

200
150
100
50
0
−50
−100
Hz(Oe)
−50
0
50
100
150
200
250
x(nm)
1
2

图 10

从第二磁层 2 漏出的杂散磁场

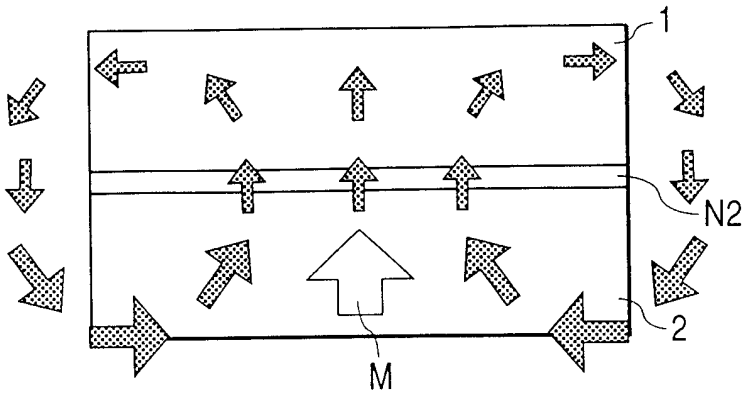


图 11

从磁层 12 漏出的杂散磁场

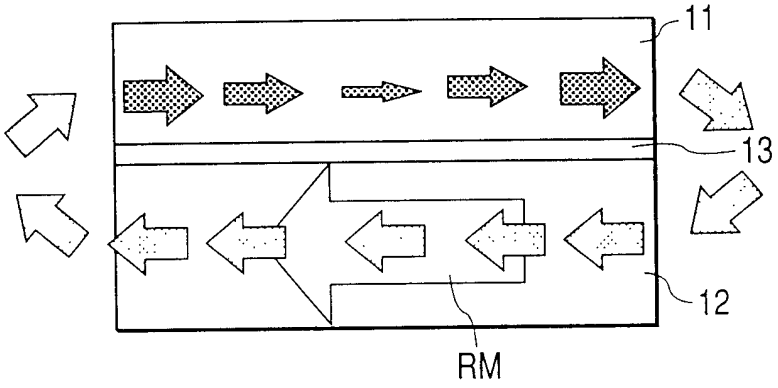


图 12

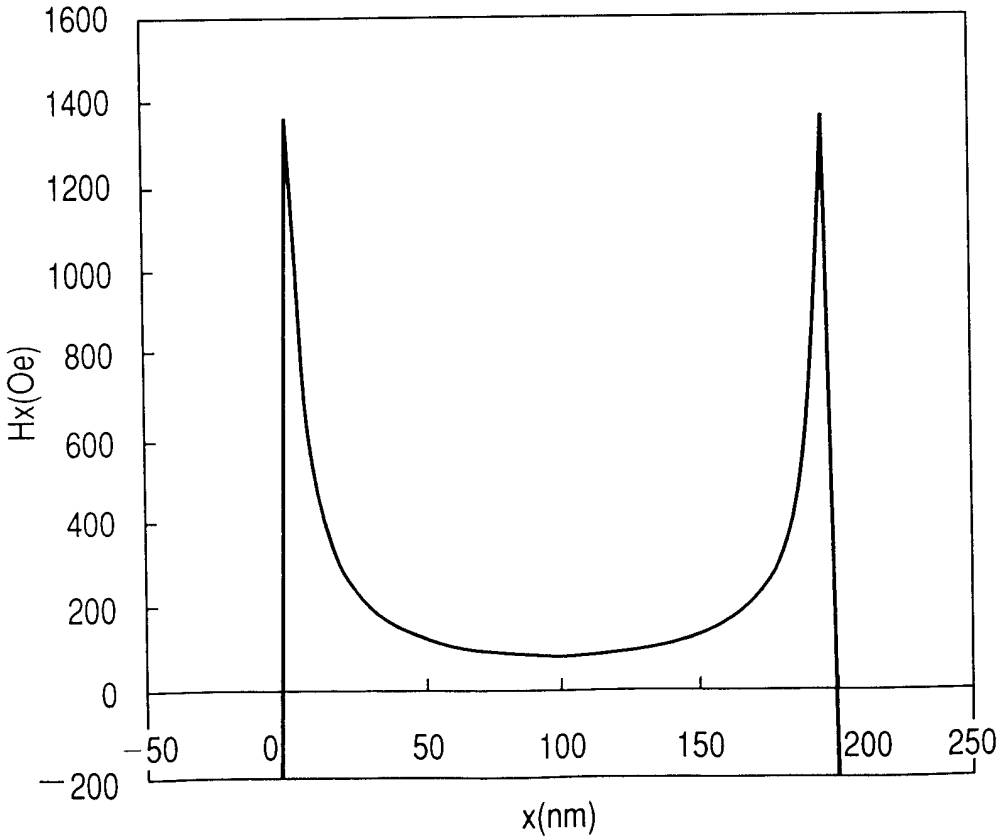


图13

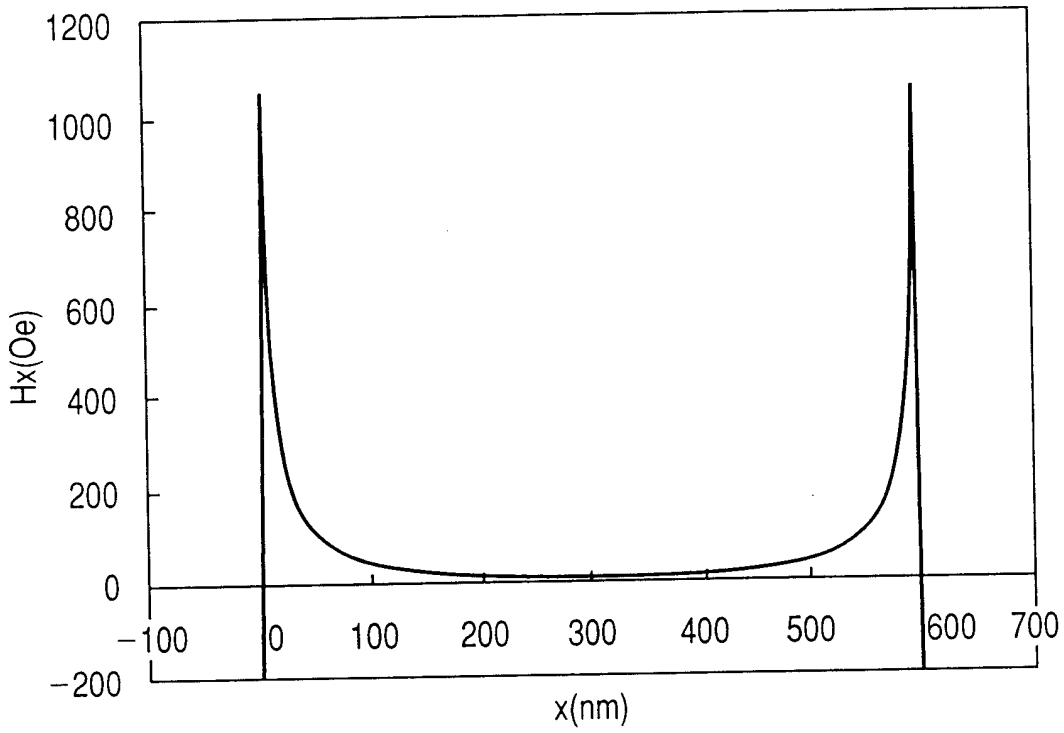


图14A

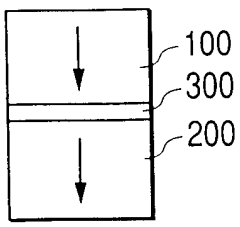


图14B

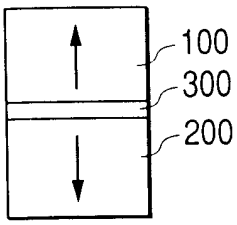


图 15A

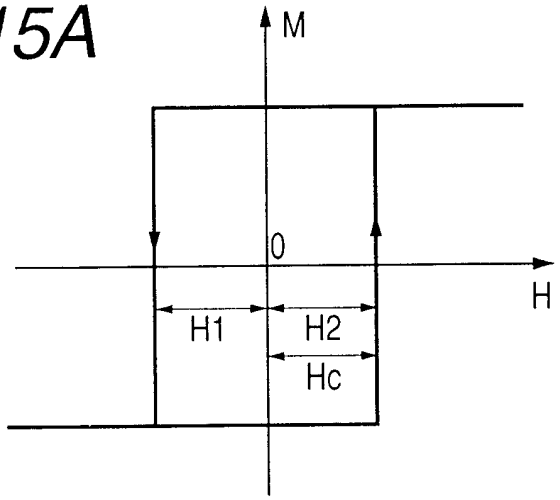


图 15B

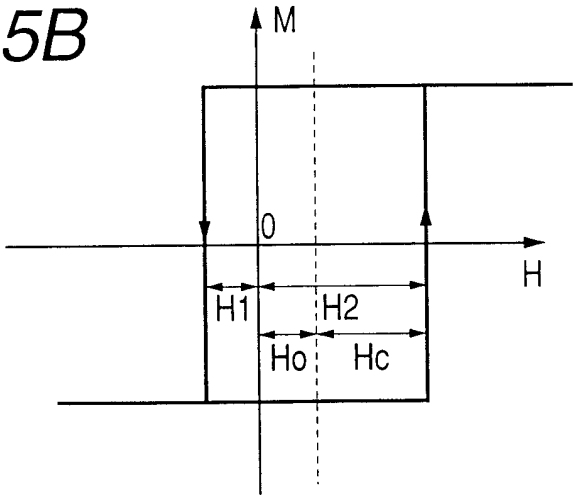


图 15C

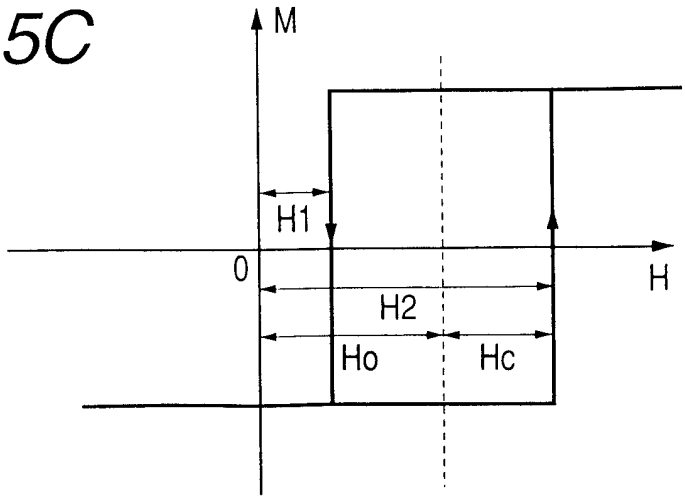


图16A

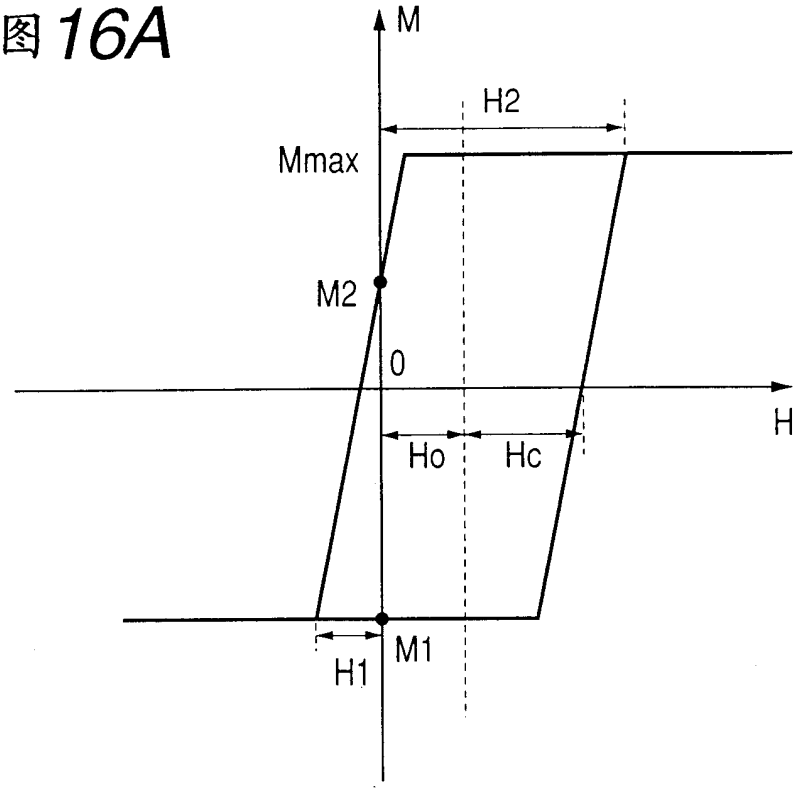


图16B

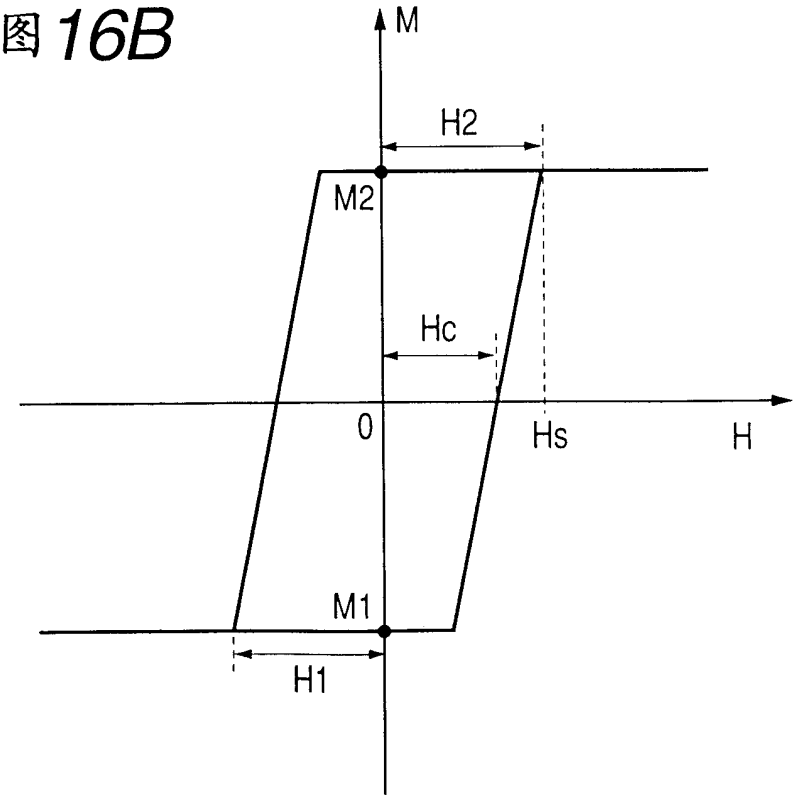
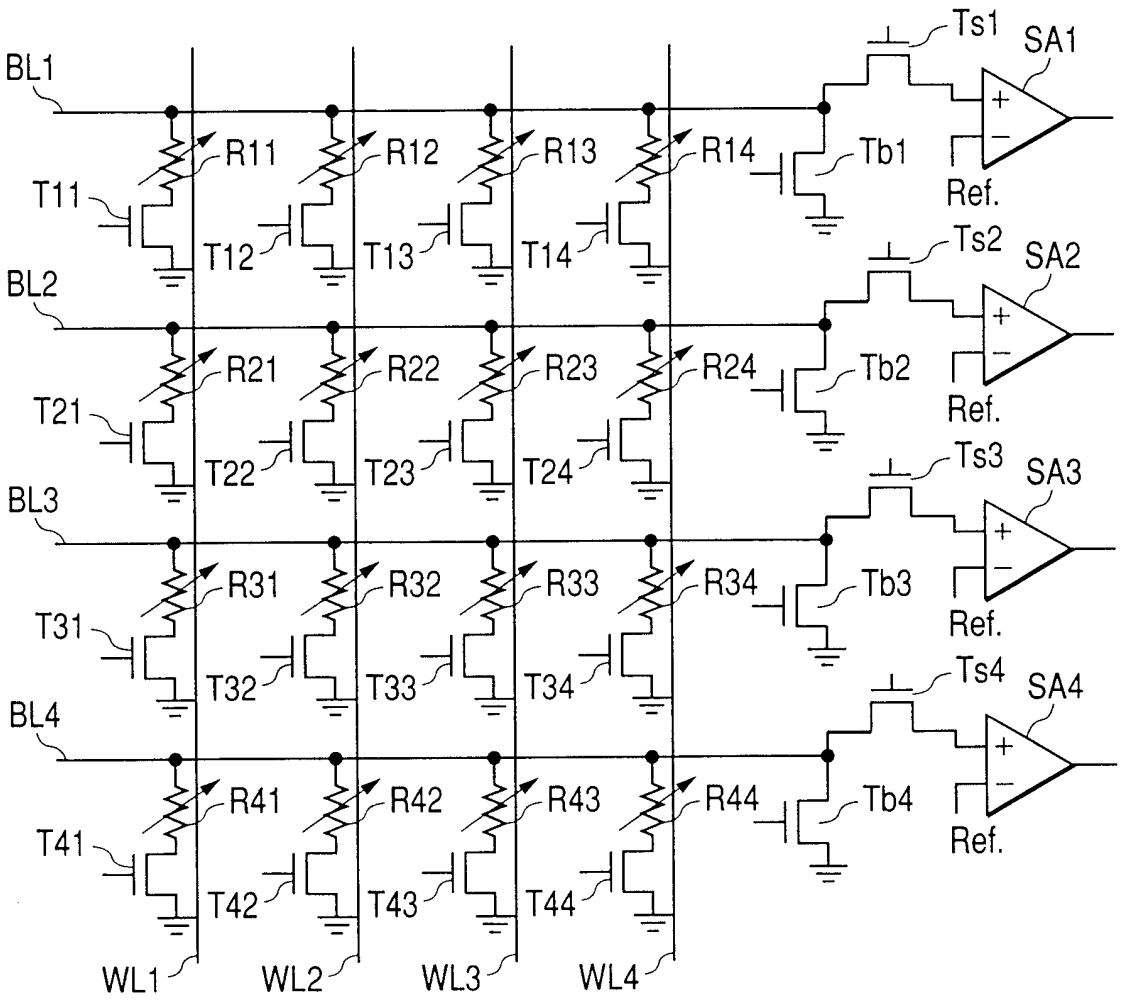


图 17


BL1
BL2
BL3
BL4
WL1
WL2
WL3
WL4
R11
R12
R13
R14
R21
R22
R23
R24
R31
R32
R33
R34
R41
R42
R43
R44
T11
T12
T13
T14
T21
T22
T23
T24
T31
T32
T33
T34
T41
T42
T43
T44
Tb1
Tb2
Tb3
Tb4
Ts1
Ts2
Ts3
Ts4
SA1
SA2
SA3
SA4
Ref.
Ref.
Ref.
Ref.