

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01L 43/08

G11C 11/15



[12] 发 明 专 利 说 明 书

专利号 ZL 02122710.1

[45] 授权公告日 2005 年 9 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 1221044C

[22] 申请日 2002. 6. 7 [21] 申请号 02122710.1

[30] 优先权

[32] 2001. 6. 7 [33] JP [31] 172567/2001

[71] 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 池田贵司

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

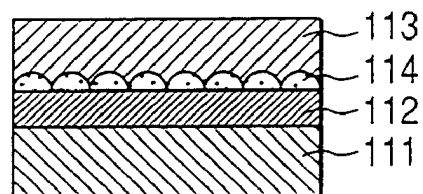
代理人 王永刚

权利要求书 3 页 说明书 16 页 附图 6 页

[54] 发明名称 磁阻效应薄膜及使用该薄膜的存储器

[57] 摘要

本发明的磁阻效应薄膜包括：由一个垂直磁性薄膜形成的第一磁层(111)，由堆积在所述第一磁层之上的由垂直磁性薄膜形成的第二磁层(113)，和一个夹在上述第一和第二磁层之间的非磁性层(112)，其中提供了一个以粒状形状形成在所述第一和第二磁层之一与非磁性层之间的第一磁性区域(114)，它具有比第一和第二磁层之一更大的自旋极化，其中这个第一磁性区同所述第一和第二磁层之一的那个磁层进行交换耦合。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种磁阻效应薄膜，包括：包含一个垂直磁化薄膜的第一磁层（111），包含一个堆积在所述第一磁层之上的垂直磁化薄膜的第二磁层（113），和一个夹在所述第一和第二磁层之间的非磁性层（112），

其中提供了一个以粒状形状形成在所述第一和第二磁层之一与非磁性层之间的第一磁性区域（114），它具有比第一和第二磁层之一更大的自旋极化，并且所述第一磁性区域被安排成同所述第一和第二磁层之一进行交换耦合。

2. 根据权利要求1所述的磁阻效应薄膜，其中进一步提供了第二磁性区域（115），它以粒状形状形成在所述第一和第二磁层的另一个和非磁性层之间，具有比第一和第二磁层的另一个更大的自旋极化，并且其中所述第二磁性区域被安排成同所述第一和第二磁层中的另一个进行交换耦合。

3. 根据权利要求2所述的磁阻效应薄膜，其中在没有施加外界磁场的状态下，所述第一和第二磁性区域之一的磁化沿着与薄膜表面相垂直的方向被引导，其中在没有施加外界磁场的状态下，所述第一和第二磁性区域中的另一个的磁化沿着与薄膜表面垂直方向相倾斜的方向被引导，并且在沿薄膜表面垂直的方向上施加外界磁场的状态下，第一和第二磁性区域中的磁化都沿着与薄膜表面相垂直的方向被引导。

4. 根据权利要求1所述的磁阻效应薄膜，其中所述非磁性层包含一个绝缘体。

5. 根据权利要求1所述的磁阻效应薄膜，其中在没有应用外界磁场的状态下，所述第一磁性区域中的磁化沿与薄膜表面垂直的方向被引导。

6. 根据权利要求1所述的磁阻效应薄膜，其中在没有应用外界磁场的状态下，所述第一磁性区域中的磁化沿着与薄膜表面垂直方向相倾斜的方向被引导，并且其中在沿薄膜表面垂直的方向施加外界磁场

的状态下,第一磁性区域中的磁化沿与薄膜表面相垂直的方向被引导。

7. 根据权利要求 1 所述的磁阻效应薄膜,其中所述第一和第二磁层中的一个由一种无定型合金组成,该无定型合金含有一种稀土金属-子格子-磁化占优势的稀土和一种过渡金属,并且所述第一磁性区域含有一种过渡金属。

8. 一种存储器,包含磁阻效应薄膜构成的存储器元件,在上述存储器元件记录信息的装置,以及读取被记录在上述存储器元件中的信息的装置,

其中所述磁阻效应薄膜包括: 包含一个垂直磁化薄膜的第一磁层(111), 包含一个堆积在所述第一磁层之上的垂直磁化薄膜的第二磁层(113), 和一个夹在所述第一和第二磁层之间的非磁性层(112), 其中提供了一个以粒状形状形成在所述第一和第二磁层之一与非磁性层之间的第一磁性区域(114), 它具有比第一和第二磁层之一更大的自旋极化, 并且所述第一磁性区域同所述第一和第二磁层之一进行交换耦合。

9. 根据权利要求 8 所述的存储器,其中用来记录信息的所述装置包括使电流流经在所述存储器元件附近提供的导体(311-314, 321-324)的装置,并且其中,从导体产生的磁场被施加到存储器元件上,从而实现了记录。

10. 根据权利要求 8 所述的存储器,其中用来记录信息的所述装置给所述的存储器元件在薄膜的面内方向施加一个磁场和垂直于薄膜表面的方向上施加一个磁场,并且通过沿薄膜表面垂直方向上的磁场决定被记录信息的取向。

11. 根据权利要求 10 所述的存储器,其中一个位线(331-333)被连接到所述存储器元件上,并且其中一个电流流经这条位线,用来给存储器元件施加沿薄膜的面内方向的磁场。

12. 根据权利要求 8 所述的存储器,其中进一步提供了第二磁性区域(115),它以粒状形状形成在所述第一和第二磁层的另一个和非磁性层之间,具有比第一和第二磁层的另一个更大的自旋极化,并且

其中所述第二磁性区域被安排成同所述第一和第二磁层中的另一个进行交换耦合。

13. 根据权利要求 12 所述的存储器, 其中在没有施加外界磁场的状态下, 所述第一和第二磁性区域之一的磁化沿着与薄膜表面相垂直的方向被引导, 其中在没有施加外界磁场的状态下, 所述第一和第二磁性区域中的另一个的磁化沿着与薄膜表面垂直方向相倾斜的方向被引导, 并且在沿薄膜表面垂直的方向上施加外界磁场的状态下, 第一和第二磁性区域中的磁化都沿着与薄膜表面相垂直的方向被引导。

14. 根据权利要求 8 所述的存储器, 其中所述非磁性层包含一个绝缘体。

15. 根据权利要求 8 所述的存储器, 其中在没有应用外界磁场的状态下, 所述第一磁性区域中的磁化沿与薄膜表面垂直的方向被引导。

16. 根据权利要求 8 所述的存储器, 其中在没有应用外界磁场的状态下, 所述第一磁性区域中的磁化沿着与薄膜表面垂直方向相倾斜的方向被引导, 并且其中在沿薄膜表面垂直的方向施加外界磁场的状态下, 第一磁性区域中的磁化沿与薄膜表面相垂直的方向被引导。

17. 根据权利要求 8 所述的存储器, 其中所述第一和第二磁层中的一个由一种无定型合金组成, 该无定型合金含有一种稀土金属-子格子-磁化占优势的稀土和一种过渡金属, 并且所述第一磁性区域含有一种过渡金属。

磁阻效应薄膜及使用该薄膜的存储器

技术领域

本发明涉及磁阻效应薄膜以及使用该薄膜的存储器。

背景技术

近年来，半导体存储器作为固态存储器被频繁地应用于信息技术设备中，存储器类型有很多种，包括动态随机存取存储器（DRAM）、铁电随机存取存储器（FeRAM）、快闪电可擦除只读存储器（EEPROM）等等。这些半导体存储器的特征既有优点也有缺点，并且根本不存在满足当前信息设备中要求的所有技术规格的存储器。例如，DRAM具有高的记录密度和大的可擦写次数，但它是一个易失性的存储器，当电源消失后记录在里面的信息就随之丢失，快闪电可擦除只读存储器是非易失的，但是它需要一段较长时间来擦除信息，因此对于信息的快速处理它就不再适用了。

与上述的半导体存储器不同，磁阻效应随机存取存储器（MRAM）是一个有潜在价值的存储器，它可以满足许多信息设备中要求的所有技术规格，比如说记录时间、读出时间、记录密度、可写入次数、耗电量等等。特别是，应用依赖自旋的隧道磁阻效应（TMR）的MRAM能产生大的读出信号，因此有利于实现更高记录密度或者快速读出，其用作MRAM的实用性在近来的研究报告中得到证实。

用于MRAM元件的磁阻效应薄膜的基本构造是一个三明治结构，在此结构中相邻的两个磁层通过一个非磁性层被形成，经常用做非磁性层的材料是铜和 Al_2O_3 。如果非磁性层材料由铜或诸如这类的导体所制成，磁阻效应薄膜就被称为一个巨磁致电阻薄膜（GMR），而如果非磁性层由诸如 Al_2O_3 这类的绝缘体所制成，磁阻效应薄膜则被称为一个依赖自旋隧道磁致电阻薄膜（TMR）。通常，TMR薄膜比GMR薄膜具有更大的磁阻效应。

随着元件尺寸的减小，为了改进 MRAM 的记录密度，使用面内磁化薄膜的 MRAM 面临如下一个问题：由于退磁场或是端面处磁化旋度的影响，引起了信息保存失败。为了解决这一问题，例如，可以采用形成矩形形状磁层的方法，但这种方法不允许减小元件尺寸，因此，靠这种方法在提高记录密度方面希望不大。因而一个通过使用垂直磁化薄膜解决上述问题的建议被做出，例如，如在日本专利申请公开号 11-213650(美国专利号 6219275)中所描述的那样。在此方法中，退磁磁场即使随着元件尺寸的减小也不增加，因而同运用面内磁化薄膜的 MRAM 相比，这种方法可以实现更小尺寸的磁阻效应薄膜。

对于磁阻效应薄膜中使用了垂直磁性薄膜的情形，磁阻效应薄膜的电阻在两个磁层的磁化方向相互平行的状态下相对小一些，但是电阻在两磁层的磁场之间相互反平行的状态下则相对来说大一些，就如同使用了面内磁化薄膜的磁阻效应薄膜的情形中那样。图 1A 至 1D 是说明磁阻效应薄膜的磁化状态和电阻值之间关系的示意图，其中磁阻效应薄膜使用的是垂直磁化薄膜。在图 1A 到 1D 的各图中，每一个磁阻效应薄膜都由如下部分组成：第一磁层 21（读出层）、堆积在读出层之上的、由比读出层 21 具有更大矫顽力的垂直磁膜制备的第二磁层 23（记录层）和夹在这两层之间的非磁层 22。标在读出层 21 和记录层 23 上的箭头代表相应磁层的磁场方向。在本实例中假定记录层 23 中向上的磁场方向为 1，向下的磁场方向为 0。

当两个磁层中的磁场方向都朝上时，如图 1A 所示，磁阻效应薄膜的电阻相对较小，当读出层 21 中磁场方向向下而记录层 23 的磁场方向向上时，如图 1C 所示，电阻就变得相对大一些。因而，当施加一个外加磁场使得读出层 21 的磁场变为向上，此时读出层 21 的记录状态为 1，随后施加另外一个外加磁场用来使得读出层 21 的磁场方向改变为向下，磁阻效应薄膜的电阻就增大，这种变化使得信息 1 被读出。然而，被施加到读出操作中的外界磁场应该达到这样的强度以至于它不能改变记录层 23 中的磁场方向。另一方面，在读出层 21 的磁场方向向上、记录层 23 的磁场方向向下的状态下电阻相对较大，如图

1B 所示,然而,在两个磁层的磁场方向都向下的状态下电阻相对较小,如图 1D 所示。因此,当同上述相似的记录状态为 0 的读出操作被执行的时候,电阻是变为减小的。从而,这种变化使得信息 0 被读出。

用做前述读出层和记录层的垂直磁性薄膜的材料主要包括:合金薄膜和人工格子薄膜,其中包含从诸如 Gd、Dy、Tb 等的稀土金属中选择的至少一种元素和从例如 Co, Fe, Ni 等等过渡金属中选择的至少一种元素;过渡金属和贵金属组成的人工格子薄膜,比如说 Co/Pt 和其它一些薄膜;在垂直于薄膜表面方向上具有磁晶各向异性的合金薄膜,例如 CoCr 和其它一些薄膜。在这些材料中,由一种稀土金属和一种过渡金属组成的无定型合金最容易形成垂直磁性薄膜,很适宜用这些合金来制造存储器元件。特别是,含稀土金属 Gd 的无定型合金更适合做存储器元件,因为 Gd 可以减小饱和的矫顽力和磁场强度。

顺便提及,为了达到大的磁阻效应,需要在同非磁性薄膜的界面上放置一个具有大自旋极化的磁性材料。但是,这就出现了一个问题,即,在三层结构的磁阻效应薄膜中(在此三层结构的薄膜中非磁性薄膜被夹在由上述含 Gd 的无定型合金制成的两层磁性薄膜之间)得不到大的磁阻效应。要解释这个问题,一个可以想到的理由就是因为同非磁性薄膜相连的界面上存在着 Gd 原子。也就是,4f 电子对 Gd 的磁化负责,它不同于传导电子。当这些原子存在于同非磁性薄膜相连的界面上时,与 Gd 原子碰撞的电子没有经历在 GMR 薄膜中的情形中的自旋散射,或者没有经历在 TMR 薄膜的情形中经历的自旋隧道过程。因此,整个磁阻效应在磁阻效应薄膜中看起来不是很明显。

发明内容

本发明的一个目的在于解决当前技术中存在的问题,提供一个具有大磁阻效应的磁阻效应薄膜,并且提供一个使用此薄膜的存储器。

本发明的上述目的由一个磁阻效应薄膜所完成,该薄膜包括:由垂直磁性薄膜组成的第一磁层;由垂直磁性薄膜组成堆积在第一磁层之上的第二磁层;夹在第一和第二磁层之间的一层非磁性层;和一个以粒状形状形成在第一和第二磁层中的一个磁层和非磁性层之间的第

一磁性区域，它的自旋极化比第一和第二磁层中的一个更大，其中第一磁性区同第一和第二磁层中的一个磁层进行交换耦合。本发明的目的也由一个存储器所实现，包括：一个由磁阻效应薄膜制成的存储器元件；在存储器元件中记录信息的装置；从存储器元件中读取被记录信息的装置，该元件中的磁阻效应薄膜包括：一个由垂直磁性薄膜组成的第一磁层；由垂直磁膜组成的堆积在第一磁膜之上的第二磁膜；一层夹在第一和第二磁膜之间的非磁性薄膜；和一个以粒状形状形成在第一和第二磁层中的一个磁层和非磁性层之间的第一磁性区域，它的自旋极化比第一和第二磁层中的一个磁层大，其中第一磁性区同第一和第二磁层中的一个磁层进行交换耦合。

具体地说，本发明提供一种磁阻效应薄膜，包括：包含一个垂直磁化薄膜的第一磁层(111)，包含一个堆积在所述第一磁层之上的垂直磁化薄膜的第二磁层(113)，和一个夹在所述第一和第二磁层之间的非磁性层(112)，其中提供了一个以粒状形状形成在所述第一和第二磁层之一与非磁性层之间的第一磁性区域(114)，它具有比第一和第二磁层之一更大的自旋极化，并且所述第一磁性区域同所述第一和第二磁层之一进行交换耦合。

根据本发明的上述磁阻效应薄膜，其中进一步提供了第二磁性区域(115)，它以粒状形状形成在所述第一和第二磁层的另一个和非磁性层之间，具有比第一和第二磁层的另一个更大的自旋极化，并且其中所述第二磁性区域被安排成同所述第一和第二磁层中的另一个进行交换耦合。

根据本发明的上述磁阻效应薄膜，其中在没有施加外界磁场的状态下，所述第一和第二磁性区域之一的磁化沿着与薄膜表面相垂直的方向被引导，其中在没有施加外界磁场的状态下，所述第一和第二磁性区域中的另一个的磁化沿着与薄膜表面垂直方向相倾斜的方向被引导，并且在沿薄膜表面垂直的方向上施加外界磁场的状态下，第一和第二磁性区域中的磁化都沿着与薄膜表面相垂直的方向被引导。

根据本发明的上述磁阻效应薄膜，其中所述非磁性层包含一个绝

缘体。

根据本发明的上述磁阻效应薄膜，其中在没有应用外界磁场的状态下，所述第一磁性区域中的磁化沿与薄膜表面垂直的方向被引导。

根据本发明的上述磁阻效应薄膜，其中在没有应用外界磁场的状态下，所述第一磁性区域中的磁化沿着与薄膜表面垂直方向相倾斜的方向被引导，并且其中在沿薄膜表面垂直的方向施加外界磁场的状态下，第一磁性区域中的磁化沿与薄膜表面相垂直的方向被引导。

根据本发明的上述磁阻效应薄膜，其中所述第一和第二磁层中的一个由一种无定型合金组成，该无定型合金含有一种稀土金属-子格子-磁化占优势的稀土和一种过渡金属，并且所述第一磁性区域含有一种过渡金属。

本发明还提供一种存储器，包含磁阻效应薄膜构成的存储器元件，在上述存储器元件记录信息的装置，以及读取被记录在上述存储器元件中的信息的装置，其中所述磁阻效应薄膜包括：包含一个垂直磁化薄膜的第一磁层(111)，包含一个堆积在所述第一磁层之上的垂直磁化薄膜的第二磁层(113)，和一个夹在所述第一和第二磁层之间的非磁性层(112)，其中提供了一个以粒状形状形成在所述第一和第二磁层之一与非磁性层之间的第一磁性区域(114)，它具有比第一和第二磁层之一更大的自旋极化，并且所述第一磁性区域同所述第一和第二磁层之一进行交换耦合。

根据本发明的上述存储器，其中用来记录信息的所述装置包括在所述存储器元件附近提供的导体(311-314, 321-324)中流经电流的装置，并且其中从导体上产生的磁场被施加到存储器元件上，从而实现了记录。

根据本发明的上述存储器，其中用来记录信息的所述装置给所述的存储器元件在薄膜的面内方向施加一个磁场和垂直于薄膜表面的方向上施加一个磁场，并且通过沿薄膜表面垂直方向上的磁场决定被记录信息的取向。

根据本发明的上述存储器，其中一个位线(331-333)被连接到所

述存储器元件上，并且其中一个电流流经这条位线，用来给存储器元件施加沿薄膜的面内方向的磁场。

根据本发明的上述存储器，其中进一步提供了第二磁性区域（115），它以粒状形状形成在所述第一和第二磁层的另一个和非磁性层之间，具有比第一和第二磁层的另一个更大的自旋极化，并且其中所述第二磁性区域被安排成同所述第一和第二磁层中的另一个进行交换耦合。

根据本发明的上述存储器，其中在没有施加外界磁场的状态下，所述第一和第二磁性区域之一的磁化沿着与薄膜表面相垂直的方向被引导，其中在没有施加外界磁场的状态下，所述第一和第二磁性区域中的另一个的磁化沿着与薄膜表面垂直方向相倾斜的方向被引导，并且在沿薄膜表面垂直的方向上施加外界磁场的状态下，第一和第二磁性区域中的磁化都沿着与薄膜表面相垂直的方向被引导。

根据本发明的上述存储器，其中所述非磁性层包含一个绝缘体。

根据本发明的上述存储器，其中在没有应用外界磁场的状态下，所述第一磁性区域中的磁化沿与薄膜表面垂直的方向被引导。

根据本发明的上述存储器，其中在没有应用外界磁场的状态下，所述第一磁性区域中的磁化沿着与薄膜表面垂直方向相倾斜的方向被引导，并且其中在沿薄膜表面垂直的方向施加外界磁场的状态下，第一磁性区域中的磁化沿与薄膜表面相垂直的方向被引导。

根据本发明的上述存储器，其中所述第一和第二磁层中的一个由一种无定型合金组成，该无定型合金含有一种稀土金属-子格子-磁化占优势的稀土和一种过渡金属，并且所述第一磁性区域含有一种过渡金属。

附图说明

图 1A、1B、1C 和 1D 是用来说明磁阻效应薄膜的磁状态和电阻幅值之间关系的图解。

图 2 是说明本发明中磁阻效应薄膜的第一实施例的截面示意图。

图 3 是说明本发明中磁阻效应薄膜的第二实施例的截面示意图。

图 4 是说明磁阻效应薄膜的比较例的截面示意图。

图 5 是说明应用本发明中磁阻效应薄膜制造的存储器的部分截面示意图。

图 6 是说明图 5 所用存储器中的磁阻效应薄膜构造的截面示意图。

图 7 是一个图 5 存储器中用于记录信息的写入线的电路图。

图 8 是一个读取记录在图 5 存储器里的信息的电子电路图，以及

图 9 是一个用来在存储器中记录信息和读取记录在存储器里信息的电子电路的示意图，该存储器由本发明中的磁阻效应薄膜制备而成。

具体实施方式

图 2 是说明本发明中磁阻效应薄膜的第一实施例的截面示意图。

在图 2 中，第二磁层 113 通过一层非磁性层 112 堆积在第一磁层 111 之上，也就是，非磁性层 112 夹在第一磁层 111 和第二磁层 113 之间。颗粒形状的第一磁性区域 114 形成在第二磁层 113 和非磁性层 112 之间的界面上，它比第二磁层 113 具有更大的自旋极化，第一磁性区域 114 同第二磁层 113 之间进行交换耦合。

组成第一磁层 111 和第二磁层 113 的垂直磁性薄膜材料优选由含有一种稀土金属和一种过渡金属的无定型合金构成。组成非磁性层 112 的材料优选由 Cu 和 Al_2O_3 构成。第一磁性区域 114 由粒状的具有高自旋极化的材料构成，比如说 Co 或 CoFe 合金。通常，Co 或者 CoFe 合金本身并没有展示大的垂直磁各向异性。因此，当它以薄膜形状形成时，由于退磁磁场的影响磁化被沿薄膜的面内方向引导，于是就需要一个高的能量用来引导沿垂直于薄膜表面方向上的磁化。然而，当比如说 Co，CoFe 合金等等这种磁性材料被以球形形状形成时，不存在形状的各向异性，因而磁化可以从任意方向被相对容易的引导。在实践中很难形成完全球形形状的磁性材料，但是这些以颗粒形式形成的磁性材料能够达到同那些球形形状材料相类似的效果。磁性材料的形状根据其形成方法、形成条件和它下面垫层的状态的不同而不同。颗粒形式的磁性材料用蒸发的方法比用溅射方法能够更容易的形成。

图 2 示出的结构是第一磁性区域 114 形成在非磁性层 112 和第二磁层 113 之间的界面上, 但是一个由上述具有高自旋磁化的材料制成的磁性区域也可以形成在非磁性层 112 和第一磁层 111 之间的界面上。此外, 由高自旋磁化材料制成的磁性区域可以被形成分别作为第一磁性区域和第二磁性区域, 位于第一磁层 111 同非磁性层 112 之间的界面上和第二磁层 113 同非磁性层 112 之间的界面上。两个界面上都有磁性区域的结构比只在其中一个界面上存在磁性区域的结构, 磁阻效应显得更显著。

形成在第一磁层 111 和非磁性层 112 之间的界面上或是形成在第二磁层 113 和非磁性层 112 之间的界面上的磁性区域中, 磁化优选为沿着垂直于零磁场中的薄膜表面的方向被引导, 也就是说, 没有从外界施加磁场的状态。当上述磁性区域中的磁化相对于垂直于薄膜表面的方向倾斜时, 优选为该磁性区域里的磁化容易地被优选引导到同薄膜表面相垂直的方向上, 而磁场施加于垂直于膜表面的方向上。当本发明的磁阻效应薄膜被用到一个存储器元件中时, 在记录和读出操作中施加磁场到磁阻效应薄膜上的方法通常是: 电流流过导体产生一个磁场, 再将此磁场加到薄膜上。这个导体通常由 Al 或 Al 合金制造, 它存在一个电流密度的极限。因此, 能够加到存储器元件的磁阻效应薄膜上的磁场强度也存在着一个极限。可以被实际加到存储器元件上的磁场强度的大小随着存储单元的结构而不同, 但是极限大约是 4KA/m。因此, 形成在第一磁层和非磁性层之间界面上或形成在第二磁层与非磁性层之间界面上的磁性区域中的磁化, 当从外界施加的的磁场不超过 4KA/m 时, 需要被引导到同薄膜表面垂直的方向上。

在磁阻效应薄膜中, 两层或更多磁层通过非磁性层被堆积到几个纳米的厚度, 一个静磁耦合力作用在两个磁层之间。特别的, 因为 TMR 薄膜的非磁性层是一个大约 2 纳米厚的超薄薄膜, 如果在磁层中的磁化强度较大, 静磁耦合力会变得非常大。在一定情形下两个磁层中的磁化反转能够通过施加相同强度的磁场而引起。当具有强的磁化强度比如象 Co、CoFe 合金此类的磁性材料置于与非磁性层的界面相接触

时，就象本发明中磁阻效应薄膜的情形那样，就可以预期有一个大的静磁耦合力发生作用。一种减小静磁耦合力的方法可以是这样：其中第一磁层或是第二磁层中的磁化沿着同形成在界面上的第一或第二磁化区域中的磁化相反的方向被引导，以减小磁层中和磁性区域（粒状磁性材料）中磁化的合成磁场的强度。例如，在粒状磁性材料是 CoFe、第一或第二磁层材料是 GdFe 的情形中，当磁层的成分是稀土（Gd）-子格子-磁化占优势的时候，静磁耦合力减小的目的就可以被达到。当 CoFe 薄膜（磁性区域）同 GdFe 薄膜（磁层）交换耦合时，CoFe 薄膜中 Co 原子和 Fe 原子的自旋与 GdFe 薄膜中 Fe 原子的自旋是平行的，但与 Gd 原子的自旋反平行。因此，当磁层成分中 Gd-子格子-磁化占优势时，GdFe 薄膜里的磁化方向同 CoFe 薄膜里的磁化方向成为反平行，以至于这两种磁性材料的合成磁化变得很低。

把磁阻效应薄膜应用到存储器元件中时有两种可以想到的结构：一种是在该结构中与非磁性层接触形成的两个磁层中其中一个的磁化被记录操作中所施加的磁场反转，但是另一个磁层中的磁化不被反转；另一种则是两个磁层的磁化都被反转。然而，在两个磁层的磁化都被反转的情形中，为使相应磁层的磁化方向反向，所需的磁场强度却不相同。也就是说，当图 2 所示的磁阻效应薄膜被用于做存储器元件时，第一磁层 111 和第二磁层 113 需要具有相互不同的矫顽力。实际应用中通常使用这两个磁层中的那个具有较大矫顽力的磁层用作记录层，使用另一个具有较小矫顽力的磁层用作读出层。

当只有其中一个磁层是可磁化反转的磁阻效应薄膜被用做一个存储器元件时，为了以非破坏的方式读出被记录信息，在保持磁阻效应薄膜的磁化状态的情况下，磁阻效应薄膜的电阻被同一个电阻值相比较，比如说是一个固定电阻器的电阻，以决定它同固定电阻器的电阻相比是大还是小。

在两个磁层都可反转的情形下，信息被记录在了经历相对强磁场作用而被磁化反转的那个磁层中。通过使另一磁层中的磁化反转并探测在那个时刻的电阻变化，记录的信息被读出。

为了改变磁阻效应薄膜中的磁化方向，磁场被加到与该薄膜表面垂直的方向上。在磁阻效应薄膜做存储器元件的场合，沿与薄膜表面垂直方向施加的磁场是基于被记录信息被确定方向的磁场。因此，沿薄膜表面垂直方向施加的磁场要求是一个自身方向可以容易改变的磁场。由于这个原因，使用磁阻效应薄膜的存储器通常被配置成如下：通过使电流流经导体的方法产生一个沿薄膜表面垂直方向上施加的磁场，并且通过改变导体中电流的方向可以将磁场方向切换到另一个。

除了与薄膜表面垂直方向上的磁场之外，通过沿薄膜面内的任意方向施加一个磁场的方法，也可以减小施加在磁阻效应薄膜上的磁场强度。应用这种方法允许在任何存储器里实现选择性的记录。施加在面内方向的磁场可以通过比如说使用永磁体的方式来产生，或者是在磁阻效应薄膜上部或下部放置一个导体，通过将由该导体产生的磁场施加到薄膜上的方法来产生。此外，用来施加面内磁场的导线也可以被用做存储器里的位线。

（实例1）

图3是说明本发明中磁阻效应薄膜的第二实施例的截面示意图。在图3中，参考数字1表示一个硅衬底，111表示第一磁层同时起到下电极的作用，112是非磁性层，113是第二磁层，114是第一磁性区域，116是保护薄膜，121是绝缘薄膜，122是上电极。在本例中，具有比第一磁层111更大自旋极化的磁性区域114以粒状形式形成在第一磁层111和非磁性层112之间。第一磁性区域114同第一磁层111进行交换耦合。

图3所示的磁阻效应薄膜的制备过程如下所述。首先，硅衬底1被放置在真空室中，在其上用溅射的方法沉积一层厚度为50纳米的垂直磁性薄膜，该垂直磁性薄膜被用作第一磁层111，由Gd-子格子-磁化占优势的 $\text{Gd}_{27}\text{Fe}_{74}$ 组成。随后，当真空室保持在一个真空状态时，用蒸发的方法将多个Co区域以粒状的形式形成在第一磁层111上，将之作为第一磁性区域114，颗粒的平均直径大约为2.5nm。然后，在第一磁性区域114上用溅射法形成一层厚度为1.5纳米的 Al_2O_3 薄

膜，作为非磁性层 112，最后衬底被暴露到大气中实现自然氧化。

接着衬底 1 被再次放进真空室里，应用溅射法在非磁性薄膜 112 上形成一层 Fe-子格子-磁化占优势的 $\text{Tb}_{19}\text{Fe}_{81}$ 薄膜作为第二磁层 113，其厚度为 30 纳米。接着一个 Pt 薄膜作为保护薄膜 116 形成在第二磁层 113 上，厚度为 5 纳米。

随后，第一抗蚀层以 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 的尺寸被形成在如上所述堆积的各层上，同时 $\text{Tb}_{19}\text{Fe}_{81}$ 薄膜通过一个研磨系统从除了位于第一抗蚀层下面的那个区域之外的其它区域中被移走。然后一层 Al_2O_3 薄膜作为绝缘薄膜 121 被形成，厚度为 30 纳米。然后，第一抗蚀层和沉积在它上面的 Al_2O_3 薄膜被移去。然后第二层抗蚀层以哑铃孔径的图案被形成，并在其上沉积一层 Al 膜，再然后第二抗蚀层被剥离，从而形成哑铃状的上电极 122。此外，为了将接触电流源和伏特计连接到第一磁层 111（低电极）上，绝缘薄膜 121 的一部分通过离子研磨方法被移走，并由此形成接触孔 123。

接触电流源和伏特计被连接到按照上述步骤形成的磁阻效应薄膜上，用来测量磁阻效应薄膜的磁阻的变化率，测量结果是 30%。

（比较实例）

图 4 是说明磁阻效应薄膜的一个比较实例的截面示意图。除了没有提供第一磁性区域 114 之外，图 4 所示的磁阻效应薄膜具有和图 3 所示磁阻效应薄膜相同的结构。因此，图 4 中的参考符号与图 3 中的完全一样，这里省略了有关它的详细描述。

除了省略了真空蒸发法制备第一磁性区域 114 的步骤之外，图 4 所示的磁阻效应薄膜的制备方法和制备过程同实例 1 中的完全一样。这样制备出的磁阻效应薄膜的磁阻变化率也用实例 1 所述的同一方法测量，测量结果是 1.8%。

（实例 2）

图 5 是说明应用本发明中磁阻效应薄膜制造的存储器的部分截面示意图。在图 5 中，数字 11 表示一个 p 型的硅衬底，两个 n 型扩散区域 12 和 13 被形成在衬底 11 上。然后一个字线（栅电极）342 穿过

一个绝缘薄膜 123 被放置在 12 和 13 这些区域之间，这样就形成了一个晶体管。

地线 356 通过一个接触室 351 被连接到 n 型扩散区域 12 上。磁阻效应薄膜 105 通过接触塞 352、357、353、354 和一个局部导线 358 连接到 n 型扩散区域 13 上。磁阻效应薄膜 105 通过一个接触塞 355 连接到位线 252 上。此外，为产生磁场，在磁阻效应薄膜 105 的边上提供了一个导体 232。在本实例中，位于同一整片的硅衬底上的一个矩阵模式里的存储器由很多存储器单元所组成，其中每一个存储器元件都包括一个如上所述的结构单元。在图 5 中，数字 341 表示一个邻近存储器单元的字线（栅电极），数字 231 表示一个邻近存储器单元的导体。

图 6 是说明图 5 中所用存储器的磁阻效应薄膜 105 结构的截面示意图。在图 6 中，数字 111 代表第一磁层，112 为非磁性层，113 是第二磁层，114 是第一磁性区域，115 第二磁性区域，116 是一层保护薄膜。

图 6 所示的磁阻效应薄膜的制备过程如下所述。首先，一层厚度为 50 纳米、由 Gd-子格子-磁化占优势的 $\text{Gd}_{26}\text{Fe}_{74}$ 所组成的垂直磁化薄膜作为第一磁层 111 被形成。随后，将 Co 区域以粒状的形状形成在第一磁层 111 上，将之作为第一磁性区域，颗粒的平均直径大约为 2.5nm。接着，一层厚度为 1.5 纳米的 Al_2O_3 薄膜形成在第一磁性区域上作为非磁性层 112。然后 Co 区域以粒状的形式被形成在非磁性层 112 上作为第二磁性区域 115，颗粒的平均直径大约是 2.5nm。此外，一层 Tb-子格子-磁化占优势的 $\text{Tb}_{27}\text{Fe}_{73}$ 薄膜作为第二磁层 113 被形成在第二磁性区域 115 上，厚度 30 纳米。最后，一个 Pt 薄膜作为保护薄膜 116 形成在第二磁层 113 上，厚度为 5 纳米。

下面描述图 5 中存储器的记录信息的过程。图 7 所示是一个图 5 中的存储器用于记录的写线电路图。在图 7 中，数字 101-109 每一个都表示一个磁阻效应薄膜，它们排列成 3 排×3 列的矩阵形式。在靠近磁阻效应薄膜 101 到 109 的地方，导体 311、312、313 和 314 被并列

放置在行方向上，导体 321、322、323 和 324 并列放置在列方向上。导体 311、312、313 和 314 的一端被相互连接起来，它们的另一端通过各晶体管 211、212、213 和 214 被相互连接到一个电源 411 上。另一方面，导体 321、322、323 和 324 的一端被相互连接起来，它们的另一端通过各晶体管 223、224、225 和 226 相互连接起来。导体 321-324 的另外一端通过各晶体管 215、216、217 和 218 被连接到导体 311、312、313 和 314 上。导体 321、322、323 和 324 通过各晶体管 219、220、221 和 222 接地。

例如，在图 7 中，在磁阻效应薄膜 105 中的磁化被选择性反转的情形中，晶体管 212、217、225 和 220 被接通，其余的晶体管则被切断。然后电流流经导体 312、313、323 和 322，进而在这些导体周围产生磁场。因此，来自四个导体的相同方向的磁场只被施加到磁阻效应薄膜 105 上。这时，这四个磁场的合成磁场被调整到只比用来使元件中磁性薄膜磁化反转的磁场稍微强一点的程度，借助于此，只有在磁阻效应薄膜 105 中的磁化可以被选择性反转。为了施加与上述情形中相反方向的磁场到磁阻效应薄膜 105 上，晶体管 213、216、224 和 221 被接通，其余晶体管被切断。在这种情况下，导体 312、313、323 和 322 中的电流流动方向与上述情况相反，它们给磁阻效应薄膜 105 施加的磁场方向也与上述情形相反。

下面来描述图 5 中的存储器读出信息的过程。图 8 是一个从图 5 的存储器中读出被记录信息的电路图图示。在图 8 中，数字 101 到 109 每一个都表示一个磁阻效应薄膜，它们排列成 3 排×3 列的矩阵形式。磁致电阻薄膜 101-109 的一端连接到各晶体管 231-239 的集电极上，晶体管 231-239 的发射极接地。在磁致电阻薄膜 101-109 中，每一行磁致电阻薄膜的另一端都被连接到位线 331、332 或 333 上。这些位线 331、332 和 333 被用导体 271 和 272 在一端相互连接起来，一起连接到一个读出放大器 500 的输入接线端。一个参考电压 (ref) 被施加在读出放大器 500 的另外输入接线端上。

另一方面，位线 331、332 和 333 的另一端通过其各晶体管 240、

241 和 242 被相互连接起来，并经由一个固定电阻器 100 连接到电源 412 上。在晶体管 231 到 239 中，每一列晶体管的栅电极都被分别连接到字线 341、342 和 343 上。

例如，在图 8 中，当记录在磁致电阻薄膜 105 中的信息被读出时，晶体管 235 和晶体管 241 就被接通，这就建立了一个电路，在此电路中电源 412、固定电阻 100 和磁阻效应薄膜 105 被串联连接起来。为此，相应于固定电阻器 100 的电阻和磁阻效应薄膜 105 的电阻的比值，电源电压被分到固定电阻器 100 和磁阻效应薄膜 105 上。因为电源电压是不变的，磁阻效应薄膜上的电压就随着磁阻效应薄膜的电阻不同而改变。电压的这种变化被读出放大器 500 探测出来以读取信息。

（实例 3）

图 9 是一个说明在存储器中记录信息和读取该存储器中被记录信息的电路示意图，此存储器是用本发明中的磁阻效应薄膜制造的。本例和实例 2 的一个区别在于，X 方向上的写线被排除在沿位于存储器元件旁边的薄膜表面的垂直方向产生磁场的 X 和 Y 方向写线的之外。在本实例中，记录过程中电流流经一个位线以产生一个沿薄膜面内方向的磁场，并且施加一个合成磁场用以改变预期存储器元件中的磁化方向，被施加的那个合成磁场由下列两个磁场合成：其中一个磁场来自于写线，用以在薄膜表面的垂直方向上产生一个磁场，另一个是来自位线的沿薄膜面内方向的磁场。

图 9 中，数字 101 到 109 每一个都表示一个磁阻效应薄膜，它们排列成 3 排×3 列的矩阵形式。每一个磁阻效应薄膜都具有图 5 中所述的结构。磁致电阻薄膜 101-109 一端被连接到各晶体管 231-239 的集电极上。晶体管 231-239 的发射极接地。在磁致电阻薄膜 101-109 中，每一行磁致电阻薄膜的另一端被分别连接到位线 331、332 和 333 上。这些位线 331、332 和 333 被通过晶体管 227 在一端相互连接起来，一起连接到一个读出放大器 500 的输入接线端。参考电压（ref）被施加在读出放大器 500 的另外输入接线端上。相互连接的位线 331-333 的一端通过晶体管 228 接地。

另一方面，位线 331、332 和 333 的另外一端通过各晶体管 240、241 和 242 被相互连接起来，并经由一个固定电阻器 100 连接到电源 412 上。在晶体管 231-239 中，每一列晶体管的栅电极都被分别连接到各字线 341、342 和 343 上。

沿列方向的导体（写线）311、312、313 和 314 被并列放置在磁阻效应薄膜 101-109 附近。导体 311、312、313 和 314 的一端被彼此相互连接起来，它们的另外一端通过各晶体管 211、212、213 和 214 连接到电源 411 上。导体 311、312、313 和 314 的另一端同时通过晶体管 215、216、217 和 218 被相互连接起来，经过这样连接起来的另一端被进一步通过晶体管 223、224 和 225 分别连接到各位线 331、332 和 333 上。

下面描述本实例中存储器的记录过程。例如，为了实现磁阻效应薄膜 105 中选择性的磁化反转，晶体管 212、217、224 和 228 被接通，其余的晶体管被切断。在这种情形下，电流流经写线 312 和 313，沿与薄膜表面垂直的方向给磁阻效应薄膜 105 施加一个磁场。另一方面，电流也流经位线 332，在薄膜的面内方向给磁阻效应薄膜 105 施加一个磁场。因此，薄膜面内方向和表面垂直方向上的磁场只是被施加到磁阻效应薄膜 105 上，于是只有磁阻效应薄膜 105 里的磁化能被选择性反转。为了给磁阻效应薄膜 105 施加相反方向的磁场，晶体管 213、216、224 和 228 被接通，而其它的则被切断。在此情形下，电流流经位线 332 同时以与上述情形相反的方向流经位线 312 和 313，对磁阻效应薄膜 105 施加相反方向的磁场。

下面描述本实例中存储器的信息读出操作。例如，为了读取记录在磁阻效应薄膜 105 中的信息，晶体管 235 和 241 被接通，这就建立了一个电路，在此电路中电源 412、固定电阻 100 和磁阻效应薄膜 105 被串联连接起来。所以，以相应于固定电阻器 100 的电阻和磁阻效应薄膜 105 的电阻的比值的电压，电源电压被分到固定电阻器 100 和磁阻效应薄膜 105 上。因为电源电压是不变的，磁阻效应薄膜上的电压就随着磁阻效应薄膜的电阻不同变化。电压的这种变化被读出放大器

500 探测出来以读取信息。

如上所述，在提供了磁性区域的基础上本发明实现了具有高磁阻效应的磁阻效应薄膜以及使用它的存储器，该磁性区域是以一个以粒状形状形成在第一与第二磁层中的至少一个磁层和非磁性层之间，并且具有比这两个磁层更大的自旋极化。

除了上述的实施例和实例之外，本发明允许进行多种变化和修改。应当理解本发明可以包含所有这些在不离开本权利要求书范围之内所做的变更和修改。

图 1A
现有技术

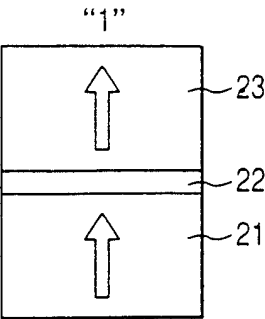


图 1B
现有技术

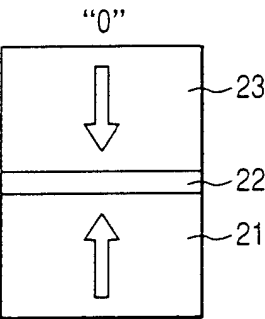


图 1C
现有技术

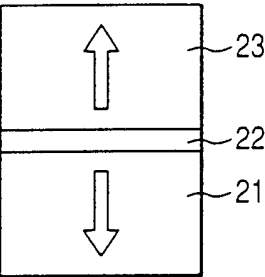


图 1D
现有技术

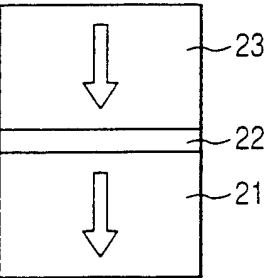


图 2

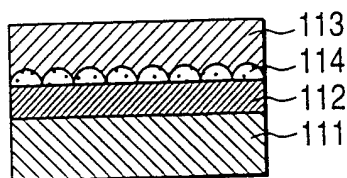


图 3

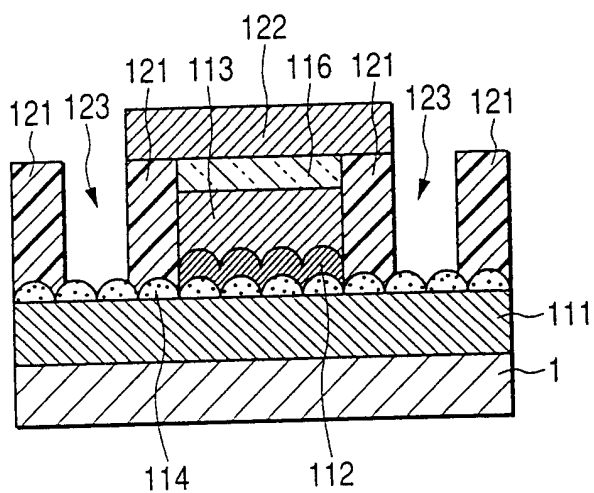


图 4

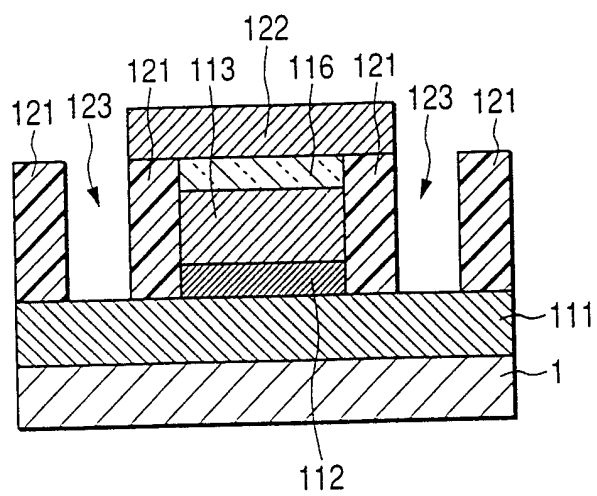


图 5

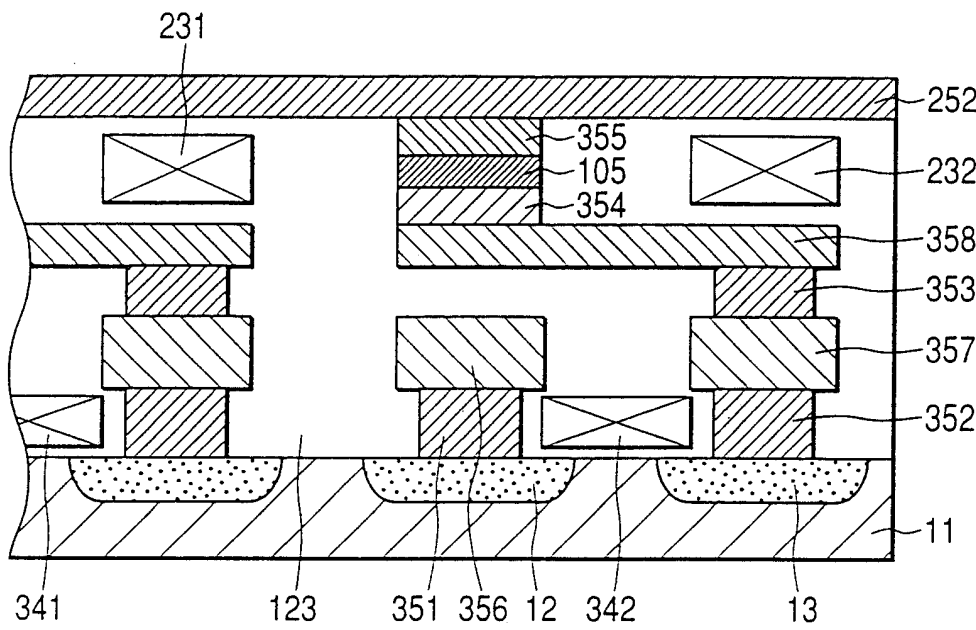


图 6

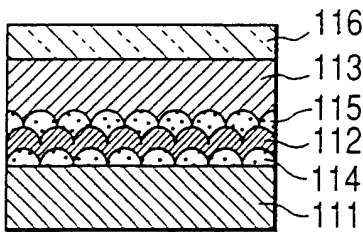


图 7

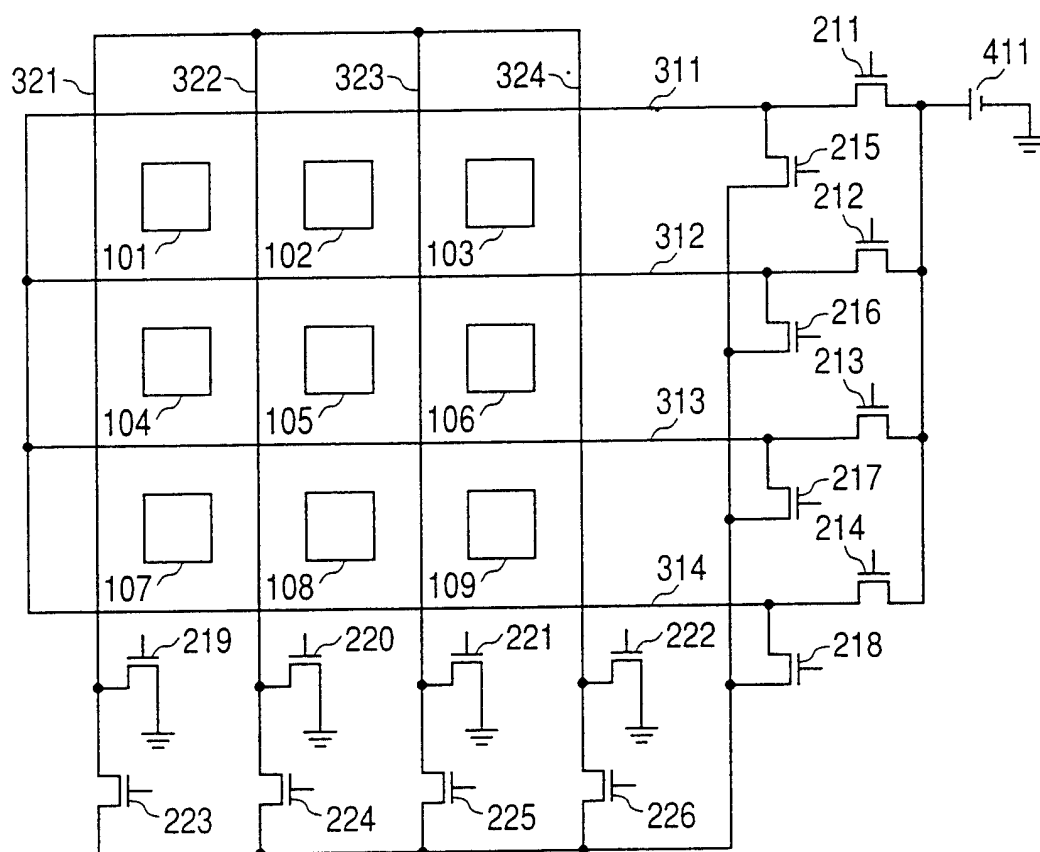


图 8

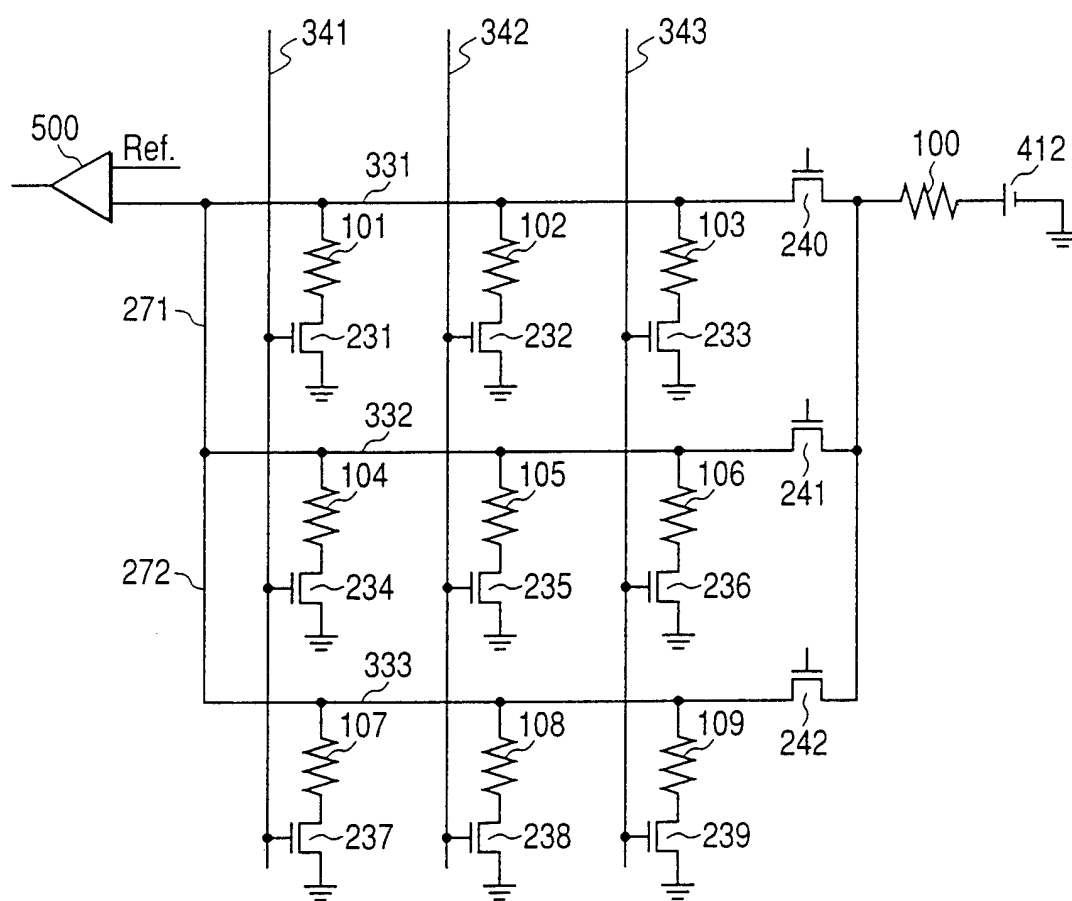


图 9

