

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G11C 11/15 (2006.01)

G11C 7/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610011168.8

[45] 授权公告日 2009年4月8日

[11] 授权公告号 CN 100476995C

[22] 申请日 2006.1.11

[21] 申请号 200610011168.8

[73] 专利权人 中国科学院物理研究所

地址 100080 北京市海淀区中关村南三街
8号

[72] 发明人 韩秀峰 马明 姜丽仙 韩宇男
覃启航 魏红祥

[56] 参考文献

CN1564260A 2005.1.12

US5541868A 1996.7.30

US2005047262A1 2005.3.3

审查员 史江峰

[74] 专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理有限公司
代理人 高存秀

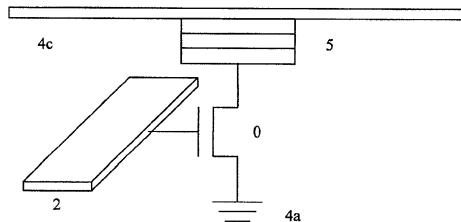
权利要求书3页 说明书22页 附图3页

[54] 发明名称

基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器及控制方法

[57] 摘要

本发明涉及一种基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器，其使用闭合状磁性多层膜或闭合状含金属芯的磁性多层膜作为存储单元。该 MRAM 是通过流经存储单元中的电流的大小和方向来实现读操作和写操作；或是通过对存储单元中的金属芯施加的电流来实现写操作，通过对存储单元中的闭合状磁性多层膜施加的隧穿电流来实现读操作。与现有技术相比，该 MRAM 通过采用新的闭合状的磁性多层膜作为存储单元，利用正负两个方向的极化隧穿电流自身产生的环行磁场或者金属芯中正负两个方向的驱动电流产生的环形磁场，并结合自旋力矩效应，进行数据的读写操作，使得 MRAM 的控制更加简便，并降低了结构的复杂性、制造工艺难度及成本，提高了应用价值。



1、一种基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器，使用闭合状磁性多层膜或闭合状含金属芯的磁性多层膜作为存储单元；其特征在于：

所述的闭合状磁性多层膜包括常规的磁性多层膜的各层；

所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜包括常规的闭合状磁性多层膜的各层，和位于该闭合状磁性多层膜的几何中心位置的一个金属芯；

所述的闭合状磁性多层膜的横截面呈闭合的矩形环或者椭圆环，其中矩形环内环的宽度为 10~100000nm，矩形环外环的宽度为 20~200000nm，矩形环内环的宽度与长度的比值为 1: 1~1: 5；椭圆环内环的短轴为 10~100000nm，短轴与长轴的比值为 1: 1.1~1: 5，椭圆环外环的短轴为 20~200000nm；

所述金属芯的横截面为矩形或椭圆形，其中，矩形的宽度为 5~50000nm，宽度与长度的比值为 1: 1~1: 5；椭圆形的短轴为 5~50000nm，椭圆形的短轴与长轴比值为 1: 1.1~1: 5，金属芯的形状与闭合状磁性多层膜的形状相匹配。

2、如权利要求 1 所述的基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器，其特征在于：所述的金属芯的材料为 Au、Ag、Pt、Ta、W、Ti、Cu 或 Al。

3、如权利要求 1 所述的基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器，其特征在于：所述的闭合状磁性多层膜或闭合状含金属芯的磁性多层膜为无钉扎型的或钉扎型的，或是双势垒型的。

4、一种基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器，包括：

晶体管单元构成的存储器读写控制单元阵列，该读写控制单元阵列集成在半导体衬底中；

闭合状磁性多层膜存储单元构成的存储单元阵列，其中存储单元的几何结构为如权利要求 1 所述的闭合状磁性多层膜；

连接上述晶体管单元和闭合状磁性多层膜存储单元的过渡金属层；

以及字线和位线，所述的字线同时也是所述的晶体管的栅极，所述的位线布置在所述的磁性闭合环状多层膜存储单元的上方，与所述的字线相互垂直，并且与所述的磁性闭合环状多层膜存储单元直接连接。

5、一种权利要求 4 所述的基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器的控制方法，其为通过流经存储单元中的电流的大小和方向来实现 MRAM 的读操作和写操作；

当闭合状磁性多层膜存储单元中的电流小于一个特定的低临界值 I_{C1} 时，其比特层的磁化状态不会受到改变，从而实现 MRAM 的读操作；所述的低临界值 I_{C1} = 电流密度 \times 基于闭合状磁性多层膜截面积，电流密度 $J_{C1} = 10 \sim 10^2 \text{ A/cm}^2$ ；

当闭合状磁性多层膜存储单元中的电流大于这个低临界值 I_{C1} 并且小于高临界值 I_{C2} 时，电流的方向将会改变基于闭合状磁性多层膜存储单元比特层的磁化状态，通过正向和负向自旋极化隧穿电流，实现其比特层的磁化状态沿顺时针或逆时针方向取向，使得比特层与被钉扎磁性层的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反，从而获得低电阻和高电阻两种状态，也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作；所述的高临界值 I_{C2} = 电流密度 \times 基于闭合状磁性多层膜截面积，电流密度 $J_{C2} = 10^2 \sim 10^6 \text{ A/cm}^2$ 。

6、一种闭合状含金属芯的磁性多层膜的磁性随机存取存储器，包括：

晶体管单元构成的存储器读写控制单元阵列，该读写控制单元阵列集成在半导体衬底中；

闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元构成的存储单元阵列，其中存储单元的几何结构为如权利要求 1 所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜；

连接上述晶体管单元和闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元的过渡金属层；

以及字线和两条位线，所述的字线同时也是所述的晶体管的栅极，所述的两条位线布置在所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元的上方，一位线与所述的字线相互垂直，并且与所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元直接连接，另一位线与所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元中的金属芯直接相连，并且由一层绝缘层与位线相互隔离。

7、一种权利要求 6 所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜的磁性随机存取存储器的控制方法，其为通过对存储单元中的金属芯施加的电流来实现 MRAM 的写操作，通过对存储单元中的闭合状含金属芯的磁性多层膜施加的隧穿电流来实现 MRAM 的读操作。

8、如权利要求 7 所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜的磁性随机存取存储器的控制方法，其特征在于：

在闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元的磁性多层膜中施加的电流小于低临界值 I_{C1} 时，其比特层的磁化状态不会受到改变，从而实现 MRAM 的读操作；所述的低临界值 I_{C1} = 电流密度 \times 闭合状含金属芯的磁性多层膜截面积，电流密度 $J_{C1} = 10 \sim 10^2 \text{A/cm}^2$ ；

在闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元中的金属芯中施加电流，当闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元中的金属芯中施加电流大于低临界值 I_{C1} 并且小于高临界值 I_{C2} 时，电流的方向将会改变闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元比特层的磁化状态，通过正向和负向的驱动电流产生顺时针或逆时针方向的磁场，实现其比特层的磁化状态沿顺时针或逆时针方向取向，使得比特层与被钉扎磁性层的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反，从而获得低电阻和高电阻两种状态，也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作；所述的高临界值 I_{C2} = 电流密度 \times 金属芯截面积，电流密度 $J_{C2} = 10^2 \sim 10^6 \text{A/cm}^2$ 。

基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器及控制方法

技术领域

本发明涉及一种基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器(MRAM)，及其控制方法

背景技术

自 20 世纪 80 年代末期 Baibich 等人在磁性多层膜系统中首次观察到巨磁电阻效应(Giant Magneto Resistance, GMR)以来,磁性多层膜体系的研究一直是科研人员普遍关注的一个课题。由于 GMR 效应具有很高的磁电阻比值,因此可以广泛应用到磁电阻型传感器、磁记录读出磁头等领域。用 GMR 制成的器件不仅具有灵敏度高、体积小、功耗低等优良特点,还可以带来抗辐射、非易失性信息存储等许多新特性。特别是将 GMR 效应用于磁记录读出磁头则给整个信息记录领域带来了一场深刻的革命,并对相关产业产生了直接而深远的影响。1994 年 IBM 公司利用 GMR 效应成功研制出硬磁盘读出磁头,将磁盘存储系统的记录密度提高了近 20 倍,使计算机产业取得了突破性进展;基于 GMR 效应制成的各类传感器件则由于输出信号增强而使得器件设计大为简化,这直接导致了器件的小型化与廉价化。

继 GMR 效应发现之后,1995 年日本科学家 T. Miyazaki 和美国科学家 J. S. Moodera 在磁性隧道结(MTJ)中分别独立获得了室温下 18%和 10%的隧道磁电阻(Tunneling Magneto Resistance, TMR)比值,从而掀起了磁性隧道结的研究高潮。研究人员基于 GMR 效应以及磁性隧道结而设计了一种新型磁性随机存取存储器(Magnetic Random Access Memory, MRAM)的器件模型,这种器件由于采用了全新的设计而具有许多激动人心的新特性,诸如抗辐射、非易失性信息存储等。典型的 MRAM 核心部分结构由四部分构成:位线(Bit Line)、写字线(Word Line),读字线(Read Line)和存储单元。位线和写字线,读字线分别位于存储单元的上方和下方,呈纵横交叉排列,存储单元则位于位线和字线的交叉处。MRAM 读写过程则由字线和位线电流共同作用而完成,这种工作方式明显的依赖于字线和位线电流所产生的磁场来操控存储单元的磁化状态,结构和工艺十分复杂,给器件的加工和集成带来了极大的不便。

1996 年,美国科学家 J. Slonczewski 从理论上预言了一种新的物理机制—自旋力矩(Spin Torque, ST)效应,这种物理机制可以利用电流自身实现对存储单元磁化状

态的操控，当存储单元中流过的电流小于某个特定的临界值 I_c 时，存储单元磁化状态不会被存储单元中流过的电流所改变，从而可以实现读操作；而当存储单元中流过的电流大于这个临界值 I_c 时，存储单元磁化状态将由存储单元中流过的电流的方向所决定，从而可以实现写操作。在随后的十几年中，科学家们对这种新效应进行了大量广泛而深入的研究。如果将这种新机制应用到磁性多层膜系统以及 MRAM 等器件中，则能够极大地简化器件结构和加工工艺，这将为信息存储领域带来又一次革命性的突破。

在现有技术中普遍使用的 MRAM 器件存储单元以及本申请人的在先专利申请 CN1564260 中公开的 MRAM 器件中，使用的存储单元—如比特层(软磁层或自由软磁层)和其它被钉扎磁性层(或硬磁层)—的几何结构均采用非闭合结构，如矩形、椭圆形等，这种结构在高密度小尺寸存储单元下将会带来较大的退磁场和形状各向异性，这种缺陷无疑会增大比特层（软磁层或自由软磁层）的反转场和功耗，同时在高密度状态下磁记录单元之间的磁耦合和相互干扰不可避免，对存储单元的磁电性能的均匀性和一致性也带来许多不利的影响，并且给存储单元的设计和制备带来诸多结构上和工艺过程中的复杂性。

发明内容

本发明的目的在于克服现有的磁性随机存取存储器使用非闭合结构的磁性多层膜作为存储单元时，由于非闭合结构存储单元的退磁场和形状各向异性的影响，以及在高密度状态下磁记录单元之间存在磁耦合和相互干扰，使得 MRAM 在读写方法上产生的一些技术困难和缺陷，从而提供一种基于闭合状磁性多层膜的、可以消除存储单元的退磁场、减弱其形状各向异性以及相互作用和干扰的磁性随机存取存储器，及其控制方法。

本发明的目的是通过如下的技术方案实现的：

本发明提供的基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器，其特征在于：使用闭合状磁性多层膜或闭合状含金属芯的磁性多层膜作为存储单元。

所述的闭合状磁性多层膜已另案申请专利，其包括常规的磁性多层膜的各层，且该磁性多层膜的横截面呈闭合的矩形环或者椭圆环，其中矩形内环的宽度为 $10 \sim 100000\text{nm}$ ，矩形外环的宽度为 $20 \sim 200000\text{nm}$ ，矩形内环的宽度与长度的比值为 $1:1 \sim 1:5$ ；椭圆内环的短轴为 $10 \sim 100000\text{nm}$ ，短轴与长轴的比值为 $1:1.1 \sim 1:5$ ，椭圆外环的短

轴为 20~200000nm。

所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜已另案申请专利，其包括常规的磁性多层膜的各层，还包括位于该闭合状磁性多层膜的几何中心位置的一个金属芯，该闭合状磁性多层膜的横截面呈闭合的矩形环或者椭圆环，其中矩形内环的宽度为 10~100000nm，矩形外环的宽度为 20~200000nm，矩形内环的宽度与长度的比值为 1:1~1:5；椭圆内环的短轴为 10~100000nm，短轴与长轴的比值为 1:1.1~1:5，椭圆外环的短轴为 20~200000nm；还包括位于该闭合状磁性多层膜的几何中心位置的一个金属芯，该金属芯的横截面为矩形或椭圆形，其中，矩形的宽度为 5~50000nm，宽度与长度的比值为 1:1~1:5；椭圆形的短轴为 5~50000nm，椭圆形的短轴与长轴比值为 1:1.1~1:5，金属芯的形状与闭合状磁性多层膜的形状相匹配，即若为矩形环则金属芯为矩形，若为椭圆环则金属芯为椭圆形。

所述的金属芯的材料为电阻率较小的金属材料，优选 Au、Ag、Pt、Ta、W、Ti、Cu 或 Al 等。该金属芯的作用是从外部施加电流，通过电流产生的环形磁场操控磁性多层膜的磁化状态，从而可以更方便的进行磁性多层膜存储单元的写操作。

本发明所述的用做存储单元的闭合状磁性多层膜或闭合状含金属芯的磁性多层膜，按照形成的材料分类，包括无钉扎型的和钉扎型的。

对于无钉扎型的，其磁性多层膜的核心结构包括一衬底及其上的下部缓冲导电层，在所述的下部缓冲导电层上依次沉积的硬磁层(以下简称 HFM)、中间层(以下简称 I1)、软磁层(以下简称 SFM)及覆盖层。

所述的衬底为各种常规衬底材料，优选 Si 衬底、SiC 衬底或 Si/SiO₂ 衬底等，厚度为 0.3~1mm；

所述的下部缓冲导电层的组成材料为金属材料，优选 Ta、Ru、Cr、Au、Ag、Pt、Ta、W、Ti、Cu 或 Al，厚度为 2~200nm；

所述的硬磁层 HFM 的组成材料为巨磁电阻效应大的材料，如 Co, Fe, Ni, CoFe, NiFeCo, CoFeB, CoFeSiB 等，厚度为 2~20 nm；

所述的中间层 I1 由金属层或者绝缘体势垒层构成，其中金属层材料如 Ti, Zn, ZnMn, Cr, Ru, Cu, V 或 TiC, 绝缘体势垒层材料如 Al₂O₃, MgO, TiO, ZnO, (ZnMn)O, CrO, VO, 或 TiCO, 中间层的厚度为 0.5~10nm；

所述的软磁层 SFM 的组成材料为自旋极化率高，矫顽力较小的铁磁材料，包括：Co, Fe, Ni 或它们的金属合金 NiFe, CoFeSiB, NiFeSiB, 或非晶 Co_{100-x-y}Fe_xB_y (0<x<100, 0<y≤20), 或 Heusler 合金，如 Co₂MnSi, Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al；软磁层材料优选 Co₉₀Fe₁₀,

Co₇₅Fe₂₅, Co₄₀Fe₄₀B₂₀, 或 Ni₇₉Fe₂₁; 所述的软磁层的厚度为 1~20nm;

所述的覆盖层为不易被氧化的且具有较大电阻的金属材料, 优选 Ta、Cu、Ru、Pt、Ag、Au、Cr 等, 厚度为 2~10 nm, 用于保护材料不被氧化。

对于钉扎型的, 其磁性多层膜的核心结构包括一衬底及其上的下部缓冲导电层, 在所述的下部缓冲导电层上依次沉积的反铁磁钉扎层(以下简称 AFM)、被钉扎磁性层(以下简称 FM1)、中间层(以下简称 I2)、自由软磁层(以下简称 FM2)及覆盖层。

所述的衬底为各种常规衬底材料, 优选 Si 衬底、SiC 衬底或 Si/SiO₂ 衬底等, 厚度为 0.3~1mm;

所述的下部缓冲导电层的组成材料为金属材料, 优选 Ta、Ru、Cr、Au、Ag、Pt、Ta、W、Ti、Cu 或 Al, 厚度为 2~200nm;

所述的反铁磁钉扎层 AFM 的组成材料为具有反铁磁性的合金, 优选 IrMn, FeMn, PtMn, 或 CrMn, 厚度为 3~30 nm;

所述的被钉扎磁性层 FM1 的组成材料为具有较高自旋极化率的铁磁性金属, 如 Fe、Co、Ni 及其合金; 优选 CoFe 合金, NiFe 合金, 非晶 CoFeB 合金, CoFeSiB 等, 厚度为 2~20 nm;

所述的中间层 I2 由金属层或者绝缘体势垒层构成, 其中金属层材料如 Ti, Zn, ZnMn, Cr, Ru, Cu, V 或 TiC, 绝缘体势垒层材料如 Al₂O₃, MgO, TiO, ZnO, (ZnMn)O, CrO, VO, 或 TiCO, 中间层的厚度为 0.5~10nm;

所述的自由软磁层 FM2 的组成材料为自旋极化率高, 矫顽力较小的铁磁材料, 包括: Co, Fe, Ni 或它们的金属合金, 或非晶 Co_{100-x-y}Fe_xB_y (0<x<100, 0<y ≤ 20), 或 NiFeSiB, 或 Heusler 合金, 如 Co₂MnSi, Co₂Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al; 软磁层材料优选 Co₉₀Fe₁₀, Co₇₅Fe₂₅, Co₄₀Fe₄₀B₂₀, 或 Ni₇₉Fe₂₁; 所述的软磁层的厚度为 1~20nm;

所述的覆盖层为不易被氧化的且具有较大电阻的金属材料, 优选 Ta、Cu、Ru、Pt、Ag、Au、Cr 等, 厚度为 2~10 nm, 用于保护材料不被氧化。

本发明所述的用做存储单元的闭合状磁性多层膜或闭合状含金属芯的磁性多层膜中的磁性多层膜核心结构也可以是双势垒型的磁性隧道结, 其核心结构包括一衬底及其上的下部缓冲导电层, 在所述的下部缓冲导电层上依次沉积的第一反铁磁钉扎层(以下简称 AFM1)、第一被钉扎磁性层(以下简称 FM11)、第一中间层(以下简称 I21)、自由软磁层(以下简称 FM2)、第二中间层(以下简称 I22)、第二被钉扎磁性层(以下简称 FM12)、第二反铁磁钉扎层(以下简称 AFM2)及覆盖层。

本发明提供的基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器包括以下几种类型：

1. 本发明提供一种基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器，如图 1A、1B 所示，包括：

晶体管 TR 单元构成的存储器读写控制单元阵列，该读写控制单元阵列集成在半导体衬底中；

闭合状磁性多层膜存储单元 RML 构成的存储单元阵列，其中存储单元的几何结构为闭合状磁性多层膜；

连接上述晶体管 TR 单元和闭合状磁性多层膜存储单元 RML 的过渡金属层；

以及字线 WL 和位线 BL，所述的字线 WL 同时也是所述的晶体管 TR 的栅极，所述的位线 BL 布置在所述的闭合状磁性多层膜存储单元 RML 的上方，与所述的字线 WL 相互垂直，并且与所述的闭合状磁性多层膜存储单元 RML 直接连接。

根据背景技术中介绍过的自旋转力矩效应，本发明提供一种上述基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器的控制方法，其为通过流经存储单元 RML 中的电流的大小和方向来实现 MRAM 的读操作和写操作，具体如下：

当闭合状磁性多层膜存储单元 RML 中的电流小于一个特定的低临界值 I_{C1} (相应电流密度 $J_{C1}=10\sim 10^2\text{A/cm}^2$ ，电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积)时，其比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态不会受到改变，从而实现 MRAM 的读操作；

当闭合状磁性多层膜存储单元 RML 中的电流大于这个低临界值 I_{C1} 并且小于高临界值 I_{C2} (相应电流密度 $J_{C2}=10^2\sim 10^6\text{A/cm}^2$ ，电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积)时，电流的方向将会改变闭合状磁性多层膜存储单元 RML 比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态，通过正向和负向自旋极化隧穿电流(即通过极化隧穿电流诱导的环行磁场的驱动作用和自旋转力矩的联合作用)，实现其比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态沿顺时针或逆时针方向取向，使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反(即磁化强度平行或反平行)，从而获得低电阻和高电阻两种状态(即获得高输出电压和低输出电压两种状态)，也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作；

如果写电流超过高临界电流值 I_{C2} (即大于该临界电流后)，被钉扎磁性层(或硬磁层)的原来沿顺时针或逆时针取向的磁化状态将被反转，即会导致比特层(软磁层或自由软磁层)和被钉扎磁性层(或硬磁层)一起被反转从而产生相同的磁化强度取向，所以写电流必须小于高临界电流值 I_{C2} 。即读电流要小于低临界电流 I_{C1} ，写电流必须大

于低临界电流 I_{C1} 而小于高临界电流 I_{C2} 。

2. 本发明提供另一种基于闭合状含金属芯的磁性多层膜的磁性随机存取存储器，如图 2A、2B 所示，包括：

晶体管 TR 单元构成的存储器读写控制单元阵列，该读写控制单元阵列集成在半导体衬底中；

闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元 RML 构成的存储单元阵列，其中存储单元的几何结构为闭合状含金属芯磁性多层膜；

连接上述晶体管 TR 单元和闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元 RML 的过渡金属层；

以及字线 WL 和两条位线 BL1、BL2，所述的字线 WL 同时也是所述的晶体管 TR 的栅极，所述的两条位线 BL1、BL2 布置在所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元 RML 的上方，位线 BL1 与所述的字线 WL 相互垂直，并且与所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元 RML 直接连接，位线 BL2 与所述的闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元 RML 中的金属芯直接相连，并且由一层绝缘层与位线 BL1 相互隔离。

本发明提供上述基于闭合状含金属芯的磁性多层膜的磁性随机存取存储器的控制方法，其为通过对存储单元 RML 中的金属芯施加的电流来实现 MRAM 的写操作，通过对存储单元 RML 中的闭合状磁性多层膜施加的隧穿电流来实现 MRAM 的读操作，具体如下：

在闭合状含金属芯的磁性多层膜存储单元 RML 的磁性多层膜中的施加的电流小于一个特定的低临界值 I_{C1} (相应电流密度 $J_{C1}=10\sim 10^2\text{A}/\text{cm}^2$ ，电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积) 时，其比特层（软磁层或自由软磁层）的磁化状态不会受到改变，从而实现 MRAM 的读操作；

在闭合状含金属芯磁性多层膜存储单元 RML 中的金属芯中施加电流，由于电流产生的磁场呈环状分布，因此可以方便的控制闭合状磁性多层膜的磁化状态，具体方法为：当闭合状含金属芯磁性多层膜存储单元 RML 中的金属芯中施加电流大于低临界值 I_{C1} 并且小于高临界值 I_{C2} (相应电流密度 $J_{C2}=10^2\sim 10^6\text{A}/\text{cm}^2$ ，电流=电流密度×金属芯截面积) 时，电流的方向将会改变闭合状磁性多层膜存储单元 RML 比特层（软磁层或自由软磁层）的磁化状态，通过正向和负向的驱动电流产生顺时针或逆时针方向

的磁场，实现其比特层（软磁层或自由软磁层）的磁化状态沿顺时针或逆时针方向取向，使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反（即磁化强度平行或反平行），从而获得低电阻和高电阻两种状态（即获得高输出电压和低输出电压两种状态），也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作。

如果写电流超过高临界电流值 I_{C2} （即大于该临界电流后），被钉扎磁性层(或硬磁层)原来沿顺时针或逆时针取向的磁化状态将被反转，即会导致比特层（软磁层或自由软磁层）和被钉扎磁性层(或硬磁层)一起被反转从而产生相同的磁化强度取向，所以写电流必须小于高临界电流值 I_{C2} 。即读电流要小于低临界电流 I_{C1} ，写电流必须大于低临界电流 I_{C1} 而小于高临界电流 I_{C2} 。

在现有技术中 MRAM 的数据写操作是依靠写字线和位线所产生的磁场的共同作用来操控存储单元比特层的磁化状态，因此在工艺结构上需要有两个金属布线层分别布置写字线和位线。而与现有技术相比，本发明提供的基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器，通过采用新的环状的磁性多层膜几何结构作为存储单元，利用正负两个方向的极化隧穿电流自身产生的环形磁场或者金属芯中正负两个方向的驱动电流产生的环形磁场，并结合自旋转力矩效应，进行数据的读写操作，使得 MRAM 的控制更加简便：利用自旋转力矩效应使得数据的读、写操作由一条位线来完成；利用金属芯中电流产生的环形磁场驱动闭合状磁性多层膜的比特层磁化状态，驱动磁场空间分布与存储单元的几何形状匹配较好，因此使得器件的驱动更加容易。这些特点使得本发明的基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器避免了由于磁场空间分布不均匀而带来的不利影响，有利于器件工作性能的稳定和器件寿命的延长；同时由于本发明的基于闭合状磁性多层膜的磁性随机存取存储器去除了现有技术中专门用于写操作的一条写字线，大大降低了传统 MRAM 结构的复杂性、制造工艺的难度及成本，并克服了现有技术中存在的缺点，提高了 MRAM 的应用价值。

附图说明

图 1A 是本发明基于闭合状(包括矩形环状和椭圆环状)磁性多层膜的磁性随机存取存储器的实施例 1 的 MRAM 单元结构示意图；

图 1B 是本发明基于闭合状(包括矩形环状和椭圆环状)磁性多层膜的磁性随机存取存储器的实施例 1 的 MRAM 单元剖面结构图；

图 2A 是本发明基于闭合状(包括矩形环状和椭圆环状)含金属芯磁性多层膜的、利用金属芯中电流产生的磁场驱动方式工作的磁性随机存取存储器实施例 2 的 MRAM 单元结构示意图;

图 2B 是本发明基于闭合状(包括矩形环状和椭圆环状)含金属芯磁性多层膜的、利用金属芯中电流产生的磁场驱动方式工作的磁性随机存取存储器实施例 2 的 MRAM 单元剖面结构图;

其中, 0 晶体管 TR、0a 晶体管 TR 的源极、0b 晶体管 TR 的漏极、0c 晶体管 TR 的栅极、1a、1b、1c、1d、1e、1f、1g 为 MRAM 单元中的各布线层、2 字线 WL1、3a 和 3b 为接触孔、4a 地线 GND、4b 过渡金属层 TM、4c 位线 BL1、4d 位线 BL2、5 闭合状磁性多层膜存储单元 RML、6 金属芯。

图 3A 是本发明基于闭合状(包括矩形环状和椭圆环状)含金属芯磁性多层膜的、利用金属芯中电流产生的磁场驱动方式工作的磁性随机存取存储器实施例 3 的 MRAM 单元结构示意图;

图 3B 是本发明基于闭合状(包括矩形环状和椭圆环状)含金属芯磁性多层膜的、利用金属芯中电流产生的磁场驱动方式工作的磁性随机存取存储器实施例 3 的 MRAM 单元剖面结构图;

其中, 0 晶体管 TR、0a 晶体管 TR 的源极、0b1 晶体管 TR 的第一漏极、0b2 晶体管 TR 的第二漏极、0c 晶体管 TR 的栅极、1a、1b、1c、1d、1e、1f 为 MRAM 单元中的各布线层、2 字线 WL1、3a、3b、3b1、3b2 为接触孔、4a 地线 GND、4b、4b1、4b2 过渡金属层 TM、4c 位线 BL1、5 闭合状磁性多层膜存储单元 RML、6 金属芯、7 字线 WL2。

具体实施方式

实施例 1、

如图 1A、1B 所示, 磁性随机存取存储器存储单元阵列由大量的 MRAM 单元组合而成, 在一个 MRAM 单元中, 包括一个闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)、晶体管 TR(0)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3a、3b)和一组布线, 即位线 BL1(4c)、字线 WL1(2)以及地线 GND(4a)。

该闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)中的磁性多层膜的结构为在 1mm 厚的 SiO₂/Si 衬底上依次沉积的厚度为 2nm 的下部缓冲导电层 Au, 厚度为 3nm 的硬磁层 (HFM) Co, 厚度为 1nm 的中间层 (IL) Cu, 厚度为 1nm 的软磁层 (SFM) NiFe 和厚度

为 4nm 的覆盖层 Ru、厚度为 2nm 的导电层 Au，闭合状结构的制备已于另案申请的专利中详细给出，矩形环的短边内宽度为 500nm，短边外宽度为 800nm，长边内宽度为 500nm，长边外宽度为 800nm，矩形环的短边与长边内宽度的比值为 1:1。

该闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)和晶体管 TR(0)通过过渡金属层 TM(4b)及接触孔(3b)相互连接。在布局上将位线 BL(4c)布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的上方并且与闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)直接相连。

如图 1B 所示，整个 MRAM 单元由若干层 1a、1b、1c、1d、1e 构成，这些层中的非功能区域由绝缘掩埋介质如 SiO₂ 等所掩埋。在 MRAM 单元中金属布线层仅有两层，即位线 BL1(4c)所在层 1d 和地线 GND(4a)与过渡金属层 TM(4b)所在层 1b，闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)布置在位线 BL1(4c)下方并且其上部电极与位线 BL1(4c)直接连接；闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的下部电极通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)与晶体管 TR(0)的漏极(0b)相连接。

在 MRAM 的读写操作中，根据背景技术中介绍过的自旋力矩效应，当位线 BL1(4c)中的电流小于一个低临界值 I_{C1} (相应电流密度 $J_{C1}=10^2\text{A}/\text{cm}^2$ ，电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积)时，位线 BL1(4c)中的电流不会改变闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的磁化状态，从而实现 MRAM 的读操作；而当位线 BL1(4c)中的电流大于这个低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} (相应电流密度 $J_{C2}=10^5\text{A}/\text{cm}^2$ ，电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积)时，位线 BL1(4c)中的电流的方向将会决定闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层（软磁层或自由软磁层）的磁化状态，使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反（即磁化强度平行或反平行），从而获得低电阻和高电阻两种状态（即获得高输出电压和低输出电压两种状态），也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作。这就是本实施例的 MRAM 利用自旋力矩效应方式的工作原理。

由此，以图 1A、1B 所示的单元为例，在 MRAM 的寻址读出操作中，首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态，然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值小于低临界值 I_{C1} 的读出电流，则读出电流由位线 BL1(4c)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)而到达地线 GND(4a)，从而获得闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5) 比特层（软磁层或自由软磁层）当前的磁化状态，即 MRAM 单元中存储的数据；在 MRAM 的寻址写入操作中，首先由被选择的字

线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态, 然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值大于低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} 的写入电流, 由于自旋力矩效应的作用, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的磁化状态将由写入电流的方向所决定, 因此当写入电流由位线 BL1(4c)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)到达地线 GND(4a)后, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态也随即由写入电流所写入, 于是完成了 MRAM 单元中数据的写入。

实施例 2、

如图 2A、2B 所示, 磁性随机存取存储器存储单元阵列由大量的 MRAM 单元组合而成, 在一个 MRAM 单元中, 包括一个闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)、布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)、晶体管 TR(0)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3a、3b)和一组布线, 即位线 BL1(4c)、位线 BL2(4d)、字线 WL1(2)以及地线 GND(4a)。闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)和晶体管 TR(0)通过过渡金属层 TM(4b)及接触孔(3b)相互连接。在布局上将位线 BL2(4d)布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的上方并且与闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)直接相连, 位线 BL1(4c)布置在位线 BL2(4d)的上方, 且与位线 BL2(4d)平行, 两者之间由绝缘层 1e 隔离。

该闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)中的磁性多层膜的结构为在 1mm 厚的 SiO_2/Si 衬底上依次沉积的厚度为 2nm 的下部缓冲导电层 Au, 厚度为 5nm 的反铁磁被钉扎磁性层(或硬磁层) (AFM) PtMn, 厚度为 2nm 的被钉扎磁性层 (FM1) $\text{Ni}_{79}\text{Fe}_{21}$, 厚度为 0.8nm 的中间层(I2)TiO, 厚度为 1nm 的自由软磁层 (FM2) $\text{Ni}_{79}\text{Fe}_{21}$ 和厚度为 2nm 的覆盖层 Au, 矩形环的短边内宽度为 500nm, 短边外宽度为 800nm, 长边内宽度为 500nm, 长边外宽度为 800nm, 矩形环的短边与长边内宽度的比值为 1:1。布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)为截面为矩形的 Al 金属芯, 矩形短边 300nm, 短边与长边的宽度比值为 1:1, 闭合状含金属芯的磁性多层膜的制备已于另案申请的专利中详细给出。

如图 2B 所示, 整个 MRAM 单元由若干层 1a、1b、1c、1d、1e、1f、1g 构成, 这些层中的非功能区域由绝缘掩埋介质如 SiO_2 等所掩埋。在 MRAM 单元中金属布线层仅有三层, 即位线 BL1(4c)所在层 1f、位线 BL2(4d)所在层 1d 和地线 GND(4a)与过渡

金属层 TM(4b)所在层 1b, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)布置在位线 BL2(4d)下方并且其上部电极与位线 BL2(4d)直接连接; 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的下部电极通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)与晶体管 TR(0)的漏极(0b)相连接; 布置在闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)与顶部的位线 BL1(4c)和底部的过渡金属层 TM(4b)直接连接。

由此, 以图 2A、2B 所示的单元为例, 在 MRAM 的寻址读出操作中, 首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态, 然后由被选择的位线 BL2(4d)导出一个量值小于低临界值 I_{C1} 的读出电流(相应电流密度 $J_{C1}=10^2\text{A}/\text{cm}^2$, 电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积), 则读出电流由位线 BL2(4d)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)而到达地线 GND(4a), 从而获得闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5) 比特层(软磁层或自由软磁层)当前的磁化状态, 即 MRAM 单元中存储的数据; 在 MRAM 的寻址写入操作中, 首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态, 然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值大于低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} 的写入电流(相应电流密度 $J_{C2}=10^5\text{A}/\text{cm}^2$, 电流=电流密度×金属芯截面积), 由于写入电流产生的磁场也呈环状分布, 因而可以操控闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态沿顺时针或逆时针方向取向, 使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反(即磁化强度平行或反平行), 从而获得低电阻和高电阻两种状态(即获得高输出电压和低输出电压两种状态), 也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作。当写入电流由位线 BL1(4c)经由金属芯 MC(6)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)到达地线 GND(4a)后, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态也随即由写入电流所写入, 于是完成了 MRAM 单元中数据的写入。

实施例 3、

如图 3A、3B 所示, 磁性随机存取存储器存储单元阵列由大量的 MRAM 单元组合而成, 在一个 MRAM 单元中, 包括一个闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)、布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)、晶体管 TR(0)、过渡金属层 TM(4b、4b1、4b2)、接触孔(3a、3b、3b1、3b2)和一组布线, 即位

线 BL1(4c)、字线 WL1(2)、字线 WL2(7)以及地线 GND(4a)。闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)和晶体管 TR(0)通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、过渡金属层 TM(4b1)、接触孔(3b1)相互连接。在布局上将位线 BL1(4c)布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的上方并且与闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)直接相连。

该闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)中的磁性多层膜的结构为在 1mm 厚的 SiO₂/Si 衬底上依次沉积的厚度为 2nm 的下部缓冲导电层 Ta, 厚度为 5nm 的反铁磁被钉扎磁性层(或硬磁层) (AFM) IrMn, 厚度为 2nm 的被钉扎磁性层 (FM1) CoFeB, 厚度为 0.8nm 的中间层(I2)Al₂O₃, 厚度为 1nm 的自由软磁层 (FM2) CoFeB 和厚度为 2nm 的覆盖层 Ta, 矩形环的短边内宽度为 1000nm, 短边外宽度为 2000nm, 长边内宽度为 1000nm, 长边外宽度为 2000nm, 矩形环的短边与长边内宽度的比值为 1:1。布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6) 为截面为矩形的 Al 金属芯, 矩形短边 500nm, 短边与长边的宽度比值为 1:1, 闭合状含金属芯的磁性多层膜的制备已于另案申请的专利中详细给出。

如图 3B 所示, 整个 MRAM 单元由若干层 1a、1b、1c、1d、1e、1f 构成, 这些层中的非功能区域由绝缘掩埋介质如 SiO₂ 等所掩埋。在 MRAM 单元中金属布线层仅有三层, 即位线 BL1(4c)所在层 1e、过渡金属层 TM(4b)所在层 1c 和地线 GND(4a)与过渡金属层 TM(4b1、4b2)所在层 1b, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)布置在位线 BL1(4c)下方并且其上部电极与位线 BL1(4c)直接连接; 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的下部电极通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、过渡金属层 TM(4b1)、接触孔(3b1)与晶体管 TR(0)的第一漏极(0b1)相连接; 布置在闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)与顶部的位线 BL1(4c)和底部的过渡金属层 TM(4b2)直接连接; 晶体管 TR(0)由两个工作区组成, 两个工作区共用同一个源极(0a), 第一工作区和第二工作区的漏极分别为 0b1 和 0b2, 两个工作区各自的工作状态分别由布置在栅极上方的字线 WL2(7)和 WL1(2)所给出的电平来控制。

由此, 以图 3A、3B 所示的单元为例, 在 MRAM 的寻址读出操作中, 首先由被选择的字线 WL2(7)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)的第一工作区工作于导通状态, 然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值小于低临界值 I_{C1} 的读出电流(相应电流密度 $J_{C1}=10^2\text{A/cm}^2$, 电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积), 则读出电流由位线 BL1(4c)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、过渡金属层 TM(4b1)、接触孔(3b1)、晶体管 TR(0)的第一漏极(0b1)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)而到达地线 GND(4a), 从而获得闭合状磁性多层膜存储单元

RML(5) 比特层（软磁层或自由软磁层）当前的磁化状态，即 MRAM 单元中存储的数据；在 MRAM 的寻址写入操作中，首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0) 的第一工作区工作于导通状态，然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值大于低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} 的写入电流（相应电流密度 $J_{C2}=10^5\text{A}/\text{cm}^2$ ，电流=电流密度×金属芯截面积），由于写入电流产生的磁场也呈环状分布，因而可以操控闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层（软磁层或自由软磁层）的磁化状态沿顺时针或逆时针方向取向，使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反（即磁化强度平行或反平行），从而获得低电阻和高电阻两种状态（即获得高输出电压和低输出电压两种状态），也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作。当写入电流由位线 BL1(4c)经由金属芯 MC(6)、过渡金属层 TM(4b2)、接触孔(3b2)、晶体管 TR(0)的第二漏极(0b2)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)到达地线 GND(4a)后，闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层（软磁层或自由软磁层）的磁化状态也随即由写入电流所写入，于是完成了 MRAM 单元中数据的写入。

实施例 4、

如图 1A、1B 所示，磁性随机存取存储器存储单元阵列由大量的 MRAM 单元组合而成，在一个 MRAM 单元中，包括一个闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)、晶体管 TR(0)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3a、3b)和一组布线，即位线 BL1(4c)、字线 WL1(2)以及地线 GND(4a)。

该闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)中的磁性多层膜的结构为在 1mm 厚的 SiO_2/Si 衬底上依次沉积的厚度为 2nm 的下部缓冲导电层 Au，厚度为 3nm 的硬磁层 (HFM) CoFe，厚度为 1nm 的中间层 (I1) Cu，厚度为 1nm 的软磁层 (SFM) NiFe 和厚度为 4nm 的覆盖层 Ru、厚度为 2nm 的导电层 Au，闭合状结构的制备已于另案申请的专利中详细给出，矩形环的短边内宽度为 500nm，短边外宽度为 800nm，长边内宽度为 2500nm，长边外宽度为 2800nm，矩形环的短边与长边内宽度的比值为 1:5。

该闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)和晶体管 TR(0)通过过渡金属层 TM(4b)及接触孔(3b)相互连接。在布局上将位线 BL1(1d)布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的上方并且与闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)直接相连。

如图 1B 所示，整个 MRAM 单元由若干层 1a、1b、1c、1d、1e 构成，这些层中的非功能区域由绝缘掩埋介质如 SiO_2 等所掩埋。在 MRAM 单元中金属布线层仅有两

层, 即位线 BL1(4c)所在层 1d 和地线 GND(4a)与过渡金属层 TM(4b)所在层 1b, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)布置在位线 BL1(4c)下方并且其上部电极与位线 BL1(4c)直接连接; 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的下部电极通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)与晶体管 TR(0)的漏极(0b)相连接。

在 MRAM 的读写操作中, 根据背景技术中介绍过的自旋力矩效应, 当位线 BL1(4c)中的电流小于一个低临界值 I_{C1} (相应电流密度 $J_{C1}=10^2\text{A}/\text{cm}^2$, 电流=电流密度 \times 闭合状磁性多层膜截面积)时, 位线 BL1(4c)中的电流不会改变闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的磁化状态, 从而实现 MRAM 的读操作; 而当位线 BL1(4c)中的电流大于这个低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} (相应电流密度 $J_{C2}=10^5\text{A}/\text{cm}^2$, 电流=电流密度 \times 闭合状磁性多层膜截面积)时, 位线 BL1(4c)中的电流的方向将会决定闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态, 使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反(即磁化强度平行或反平行), 从而获得低电阻和高电阻两种状态(即获得高输出电压和低输出电压两种状态), 也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作。这就是本实施例的 MRAM 利用自旋力矩效应方式的工作原理。

由此, 以图 1A、1B 所示的单元为例, 在 MRAM 的寻址读出操作中, 首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态, 然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值小于低临界值 I_{C1} 的读出电流, 则读出电流由位线 BL1(4c)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)而到达地线 GND(4a), 从而获得闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5) 比特层(软磁层或自由软磁层)当前的磁化状态, 即 MRAM 单元中存储的数据; 在 MRAM 的寻址写入操作中, 首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态, 然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值大于低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} 的写入电流, 由于自旋力矩效应的作用, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的磁化状态将由写入电流的方向所决定, 因此当写入电流由位线 BL1(4c)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)到达地线 GND(4a)后, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5) 的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态也随即由写入电流所写入, 于是完成了 MRAM 单元中数据的写入。

实施例 5、

如图 2A、2B 所示，磁性随机存取存储器存储单元阵列由大量的 MRAM 单元组合而成，在一个 MRAM 单元中，包括一个闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)、布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)、晶体管 TR(0)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3a、3b)和一组布线，即位线 BL1(4c)、位线 BL2(4d)、字线 WL1(2)以及地线 GND(4a)。闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)和晶体管 TR(0)通过过渡金属层 TM(4b)及接触孔(3b)相互连接。在布局上将位线 BL2(4d)布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的上方并且与闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)直接相连，位线 BL1(4c)布置在位线 BL2(4d)的上方，且与位线 BL2(4d)平行，两者之间由绝缘层 1e 隔离。

该闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)中的磁性多层膜的结构为在 1mm 厚的 SiO₂/Si 衬底上依次沉积的厚度为 2nm 的下部缓冲导电层 Au，厚度为 5nm 的反铁磁被钉扎磁性层(或硬磁层) (AFM) PtMn，厚度为 2nm 的被钉扎磁性层 (FM1) Ni₇₉Fe₂₁，厚度为 0.8nm 的中间层(I2)TiO，厚度为 1nm 的自由软磁层 (FM2) Ni₇₉Fe₂₁ 和厚度为 2nm 的覆盖层 Au，矩形环的短边内宽度为 500nm，短边外宽度为 800nm，长边内宽度为 2500nm，长边外宽度为 2800nm，矩形环的短边与长边内宽度的比值为 1:5。布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6) 为截面为矩形的 Al 金属芯，矩形短边 300nm，短边与长边的宽度比值为 1:5，闭合状含金属芯的磁性多层膜的制备已于另案申请的专利中详细给出。

如图 2B 所示，整个 MRAM 单元由若干层 1a、1b、1c、1d、1e、1f、1g 构成，这些层中的非功能区域由绝缘掩埋介质如 SiO₂ 等所掩埋。在 MRAM 单元中金属布线层仅有三层，即位线 BL1(4c)所在层 1f、位线 BL2(4d)所在层 1d 和地线 GND(4a)与过渡金属层 TM(4b)所在层 1b，闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)布置在位线 BL2(4d)下方并且其上部电极与位线 BL2(4d)直接连接；闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的下部电极通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)与晶体管 TR(0)的漏极(0b)相连接；布置在闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)与顶部的位线 BL1(4c)和底部的过渡金属层 TM(4b)直接连接。

由此，以图 2A、2B 所示的单元为例，在 MRAM 的寻址读出操作中，首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态，然后由被选择的位线 BL2(4d)导出一个量值小于低临界值 I_{C1} 的读出电流(相应电流密度 $J_{C1}=10^2\text{A/cm}^2$ ，电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积)，则读出电流由位线 BL2(4d)

经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)而到达地线 GND(4a),从而获得闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5) 比特层(软磁层或自由软磁层)当前的磁化状态,即 MRAM 单元中存储的数据;在 MRAM 的寻址写入操作中,首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态,然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值大于低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} 的写入电流(相应电流密度 $J_{C2}=10^5\text{A}/\text{cm}^2$, 电流=电流密度 \times 金属芯截面积),由于写入电流产生的磁场也呈环状分布,因而可以操控闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态沿顺时针或逆时针方向取向,使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反(即磁化强度平行或反平行),从而获得低电阻和高电阻两种状态(即获得高输出电压和低输出电压两种状态),也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作。当写入电流由位线 BL1(4c)经由金属芯 MC(6)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)到达地线 GND(4a)后,闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态也随即由写入电流所写入,于是完成了 MRAM 单元中数据的写入。

实施例 6、

如图 3A、3B 所示,磁性随机存取存储器存储单元阵列由大量的 MRAM 单元组合而成,在一个 MRAM 单元中,包括一个闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)、布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)、晶体管 TR(0)、过渡金属层 TM(4b、4b1、4b2)、接触孔(3a、3b、3b1、3b2)和一组布线,即位线 BL1(4c)、字线 WL1(2)、字线 WL2(7)以及地线 GND(4a)。闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)和晶体管 TR(0)通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、过渡金属层 TM(4b1)、接触孔(3b1)相互连接。在布局上将位线 BL1(4c)布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的上方并且与闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)直接相连。

该闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)中的磁性多层膜的结构为在 1mm 厚的 SiO_2/Si 衬底上依次沉积的厚度为 2nm 的下部缓冲导电层 Ta,厚度为 5nm 的反铁磁被钉扎磁性层(或硬磁层)(AFM) IrMn,厚度为 2nm 的被钉扎磁性层 (FM1) CoFeB,厚度为 0.8nm 的中间层(I2) Al_2O_3 ,厚度为 1nm 的自由软磁层 (FM2) CoFeB 和厚度为 2nm 的覆盖层 Ta,矩形环的短边内宽度为 1000nm,短边外宽度为 2000nm,长边内宽度为

5000nm，长边外宽度为 6000nm，矩形环的短边与长边内宽度的比值为 1:5。布置在闭合矩形环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6) 为截面为矩形的 Al 金属芯，矩形短边 300nm，短边与长边的宽度比值为 1:5，闭合状含金属芯的磁性多层膜的制备已于另案申请的专利中详细给出。

如图 3B 所示，整个 MRAM 单元由若干层 1a、1b、1c、1d、1e、1f 构成，这些层中的非功能区域由绝缘掩埋介质如 SiO₂ 等所掩埋。在 MRAM 单元中金属布线层仅有三层，即位线 BL1(4c)所在层 1e、过渡金属层 TM(4b)所在层 1c 和地线 GND(4a)与过渡金属层 TM(4b1、4b2)所在层 1b，闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)布置在位线 BL1(4c)下方并且其上部电极与位线 BL1(4c)直接连接；闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的下部电极通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、过渡金属层 TM(4b1)、接触孔(3b1)与晶体管 TR(0)的第一漏极(0b1)相连接；布置在闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)与顶部的位线 BL1(4c)和底部的过渡金属层 TM(4b2)直接连接；晶体管 TR(0)由两个工作区组成，两个工作区共用同一个源极(0a)，第一工作区和第二工作区的漏极分别为 0b1 和 0b2，两个工作区各自的工作状态分别由布置在栅极上方的字线 WL2(7)和 WL1(2)所给出的电平来控制。

由此，以图 3A、3B 所示的单元为例，在 MRAM 的寻址读出操作中，首先由被选择的字线 WL2(7)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)的第一工作区工作于导通状态，然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值小于低临界值 I_{C1} 的读出电流(相应电流密度 $J_{C1}=10^2\text{A}/\text{cm}^2$ ，电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积)，则读出电流由位线 BL1(4c)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、过渡金属层 TM(4b1)、接触孔(3b1)、晶体管 TR(0)的第一漏极(0b1)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)而到达地线 GND(4a)，从而获得闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5) 比特层(软磁层或自由软磁层)当前的磁化状态，即 MRAM 单元中存储的数据；在 MRAM 的寻址写入操作中，首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)的第一工作区工作于导通状态，然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值大于低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} 的写入电流(相应电流密度 $J_{C2}=10^5\text{A}/\text{cm}^2$ ，电流=电流密度×金属芯截面积)，由于写入电流产生的磁场也呈环状分布，因而可以操控闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态沿顺时针或逆时针方向取向，使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反(即磁化强度平行或反平行)，从而获得低电阻和高电阻两种状态(即获得高输出电压和低输出电压两种状态)，也就是通过控制电流

的方向就可以实现 MRAM 的写操作。当写入电流由位线 BL1(4c)经由金属芯 MC(6)、过渡金属层 TM(4b2)、接触孔(3b2)、晶体管 TR(0)的第二漏极(0b2)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)到达地线 GND(4a)后, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态也随即由写入电流所写入, 于是完成了 MRAM 单元中数据的写入。

实施例 7、

如图 1A、1B 所示, 磁性随机存取存储器存储单元阵列由大量的 MRAM 单元组合而成, 在一个 MRAM 单元中, 包括一个闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)、晶体管 TR(0)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3a、3b)和一组布线, 即位线 BL1(4c)、字线 WL1(2)以及地线 GND(4a)。

该闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)中的磁性多层膜的结构为在 1mm 厚的 SiO₂/Si 衬底上依次沉积的厚度为 2nm 的下部缓冲导电层 Au, 厚度为 5nm 的硬磁层 (HFM) CoFe, 厚度为 1nm 的中间层 (I1) Cu, 厚度为 1nm 的软磁层 (SFM) NiFe 和厚度为 4nm 的覆盖层 Ru、厚度为 2nm 的导电层 Au, 闭合状结构的制备已于另案申请的专利中详细给出, 椭圆环的短轴内径为 500nm, 短轴外径为 800nm, 长轴内径为 2500nm, 长轴外径为 2800nm, 椭圆环的短轴与长轴内径的比值为 1:5。

该闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)和晶体管 TR(0)通过过渡金属层 TM(4b)及接触孔(3b)相互连接。在布局上将位线 BL1(1d)布置在闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的上方并且与闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)直接相连。

如图 1B 所示, 整个 MRAM 单元由若干层 1a、1b、1c、1d、1e 构成, 这些层中的非功能区域由绝缘掩埋介质如 SiO₂ 等所掩埋。在 MRAM 单元中金属布线层仅有两层, 即位线 BL1(4c)所在层 1d 和地线 GND(4a)与过渡金属层 TM(4b)所在层 1b, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)布置在位线 BL1(4c)下方并且其上部电极与位线 BL1(4c)直接连接; 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的下部电极通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)与晶体管 TR(0)的漏极(0b)相连接。

在 MRAM 的读写操作中, 根据背景技术中介绍过的自旋力矩效应, 当位线 BL1(4c)中的电流小于一个低临界值 I_{C1} (相应电流密度 $J_{C1}=10^2\text{A}/\text{cm}^2$, 电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积)时, 位线 BL1(4c)中的电流不会改变闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的磁化状态, 从而实现 MRAM 的读操作; 而当位线 BL1(4c)中的电流大于这个低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} (相应电流密度 $J_{C2}=10^5\text{A}/\text{cm}^2$, 电流=电流密度

×闭合状磁性多层膜截面积)时, 位线 BL1(4c)中的电流的方向将会决定闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态, 使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反(即磁化强度平行或反平行), 从而获得低电阻和高电阻两种状态(即获得高输出电压和低输出电压两种状态), 也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作。这就是本实施例的 MRAM 利用自旋力矩效应方式的工作原理。

由此, 以图 1A、1B 所示的单元为例, 在 MRAM 的寻址读出操作中, 首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态, 然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值小于低临界值 I_{C1} 的读出电流, 则读出电流由位线 BL1(4c)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)而到达地线 GND(4a), 从而获得闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5) 比特层(软磁层或自由软磁层)当前的磁化状态, 即 MRAM 单元中存储的数据; 在 MRAM 的寻址写入操作中, 首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态, 然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值大于低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} 的写入电流, 由于自旋力矩效应的作用, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的磁化状态将由写入电流的方向所决定, 因此当写入电流由位线 BL1(4c)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)到达地线 GND(4a)后, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5) 的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态也随即由写入电流所写入, 于是完成了 MRAM 单元中数据的写入。

实施例 8、

如图 2A、2B 所示, 磁性随机存取存储器存储单元阵列由大量的 MRAM 单元组合而成, 在一个 MRAM 单元中, 包括一个闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)、布置在闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)、晶体管 TR(0)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3a、3b)和一组布线, 即位线 BL1(4c)、位线 BL2(4d)、字线 WL1(2)以及地线 GND(4a)。闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)和晶体管 TR(0)通过过渡金属层 TM(4b)及接触孔(3b)相互连接。在布局上将位线 BL2(4d)布置在闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的上方并且与闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)直接相连, 位线 BL1(4c)布置在位线 BL2(4d)的上方, 且与位线 BL2(4d)

平行，两者之间由绝缘层 1e 隔离。

该闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)中的磁性多层膜的结构为在 1mm 厚的 SiO₂/Si 衬底上依次沉积的厚度为 2nm 的下部缓冲导电层 Au, 厚度为 5nm 的反铁磁被钉扎磁性层(或硬磁层) (AFM) PtMn, 厚度为 2nm 的被钉扎磁性层 (FM1) Ni₇₉Fe₂₁, 厚度为 0.8nm 的中间层(I2)TiO, 厚度为 1nm 的自由软磁层 (FM2) Ni₇₉Fe₂₁ 和厚度为 2nm 的覆盖层 Au, 椭圆环的短轴内径为 500nm, 短轴外径为 800nm, 长轴内径为 2500nm, 长轴外径为 2800nm, 椭圆环的短轴与长轴内径的比值为 1:5。布置在闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)为截面为椭圆形的 Au 金属芯, 椭圆形短轴 300nm, 短边与长边的宽度比值为 1:5, 闭合状含金属芯的磁性多层膜的制备已于另案申请的专利中详细给出。

如图 2B 所示, 整个 MRAM 单元由若干层 1a、1b、1c、1d、1e、1f、1g 构成, 这些层中的非功能区域由绝缘掩埋介质如 SiO₂ 等所掩埋。在 MRAM 单元中金属布线层仅有三层, 即位线 BL1(4c)所在层 1f、位线 BL2(4d)所在层 1d 和地线 GND(4a)与过渡金属层 TM(4b)所在层 1b, 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)布置在位线 BL2(4d)下方并且其上部电极与位线 BL2(4d)直接连接; 闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的下部电极通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)与晶体管 TR(0)的漏极(0b)相连接; 布置在闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)与顶部的位线 BL1(4c)和底部的过渡金属层 TM(4b)直接连接。

由此, 以图 2A、2B 所示的单元为例, 在 MRAM 的寻址读出操作中, 首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态, 然后由被选择的位线 BL2(4d)导出一个量值小于低临界值 I_{C1} 的读出电流(相应电流密度 $J_{C1}=10^2\text{A}/\text{cm}^2$, 电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积), 则读出电流由位线 BL2(4d)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)而到达地线 GND(4a), 从而获得闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5) 比特层(软磁层或自由软磁层)当前的磁化状态, 即 MRAM 单元中存储的数据; 在 MRAM 的寻址写入操作中, 首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)工作于导通状态, 然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值大于低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} 的写入电流(相应电流密度 $J_{C2}=10^5\text{A}/\text{cm}^2$, 电流=电流密度×金属芯截面积), 由于写入电流产生的磁场也呈环状分布, 因而可以操控闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态沿顺时针或逆时针方向取向, 使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎

磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反(即磁化强度平行或反平行),从而获得低电阻和高电阻两种状态(即获得高输出电压和低输出电压两种状态),也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作。当写入电流由位线 BL1(4c)经由金属芯 MC(6)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、晶体管 TR(0)的漏极(0b)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)到达地线 GND(4a)后,闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态也随即由写入电流所写入,于是完成了 MRAM 单元中数据的写入。

实施例 9、

如图 3A、3B 所示,磁性随机存取存储器存储单元阵列由大量的 MRAM 单元组合而成,在一个 MRAM 单元中,包括一个闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)、布置在闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)、晶体管 TR(0)、过渡金属层 TM(4b、4b1、4b2)、接触孔(3a、3b、3b1、3b2)和一组布线,即位线 BL1(4c)、字线 WL1(2)、字线 WL2(7)以及地线 GND(4a)。闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)和晶体管 TR(0)通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、过渡金属层 TM(4b1)、接触孔(3b1)相互连接。在布局上将位线 BL1(4c)布置在闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的上方并且与闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)直接相连。

该闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)中的磁性多层膜的结构为在 1mm 厚的 SiO₂/Si 衬底上依次沉积的厚度为 2nm 的下部缓冲导电层 Ta,厚度为 5nm 的反铁磁被钉扎磁性层(或硬磁层)(AFM) IrMn,厚度为 2nm 的被钉扎磁性层(FM1) CoFeB,厚度为 0.8nm 的中间层(I2)Al₂O₃,厚度为 1nm 的自由软磁层(FM2) CoFeB 和厚度为 2nm 的覆盖层 Ta,椭圆环的短轴内径为 1000nm,短轴外径为 2000nm,长轴内径为 5000nm,长轴外径为 6000nm,椭圆环的短轴与长轴内径的比值为 1:5。布置在闭合椭圆环状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)为截面为椭圆形的 Au 金属芯,椭圆形短轴 500nm,短边与长边的宽度比值为 1:5,闭合状含金属芯的磁性多层膜的制备已于另案申请的专利中详细给出。

如图 3B 所示,整个 MRAM 单元由若干层 1a、1b、1c、1d、1e、1f 构成,这些层中的非功能区域由绝缘掩埋介质如 SiO₂ 等所掩埋。在 MRAM 单元中金属布线层仅有三层,即位线 BL1(4c)所在层 1e、过渡金属层 TM(4b)所在层 1c 和地线 GND(4a)与过渡金属层 TM(4b1、4b2)所在层 1b,闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)布置在位线 BL1(4c)下方并且其上部电极与位线 BL1(4c)直接连接;闭合状磁性多层膜存储单元

RML(5)的下部电极通过过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、过渡金属层 TM(4b1)、接触孔(3b1)与晶体管 TR(0)的第一漏极(0b1)相连接；布置在闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的几何中心的金属芯 MC(6)与顶部的位线 BL1(4c)和底部的过渡金属层 TM(4b2)直接连接；晶体管 TR(0)由两个工作区组成，两个工作区共用同一个源极(0a)，第一工作区和第二工作区的漏极分别为 0b1 和 0b2，两个工作区各自的工作状态分别由布置在栅极上方的字线 WL2(7)和 WL1(2)所给出的电平来控制。

由此，以图 3A、3B 所示的单元为例，在 MRAM 的寻址读出操作中，首先由被选择的字线 WL2(7)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0)的第一工作区工作于导通状态，然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值小于低临界值 I_{C1} 的读出电流(相应电流密度 $J_{C1}=10^2\text{A}/\text{cm}^2$ ，电流=电流密度×闭合状磁性多层膜截面积)，则读出电流由位线 BL1(4c)经由闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)、过渡金属层 TM(4b)、接触孔(3b)、过渡金属层 TM(4b1)、接触孔(3b1)、晶体管 TR(0)的第一漏极(0b1)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)而到达地线 GND(4a)，从而获得闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5) 比特层(软磁层或自由软磁层)当前的磁化状态，即 MRAM 单元中存储的数据；在 MRAM 的寻址写入操作中，首先由被选择的字线 WL1(2)给出一个适当的电平使晶体管 TR(0) 的第一工作区工作于导通状态，然后由被选择的位线 BL1(4c)导出一个量值大于低临界值 I_{C1} 而小于高临界值 I_{C2} 的写入电流(相应电流密度 $J_{C2}=10^5\text{A}/\text{cm}^2$ ，电流=电流密度×金属芯截面积)，由于写入电流产生的磁场也呈环状分布，因而可以操控闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态沿顺时针或逆时针方向取向，使得比特层(软磁层或自由软磁层)与被钉扎磁性层(或硬磁层)的磁化状态分别沿顺时针或逆时针方向相同或相反(即磁化强度平行或反平行)，从而获得低电阻和高电阻两种状态(即获得高输出电压和低输出电压两种状态)，也就是通过控制电流的方向就可以实现 MRAM 的写操作。当写入电流由位线 BL1(4c)经由金属芯 MC(6)、过渡金属层 TM(4b2)、接触孔(3b2)、晶体管 TR(0)的第二漏极(0b2)、晶体管 TR(0)的源极(0a)、接触孔(3a)到达地线 GND(4a)后，闭合状磁性多层膜存储单元 RML(5)的比特层(软磁层或自由软磁层)的磁化状态也随即由写入电流所写入，于是完成了 MRAM 单元中数据的写入。

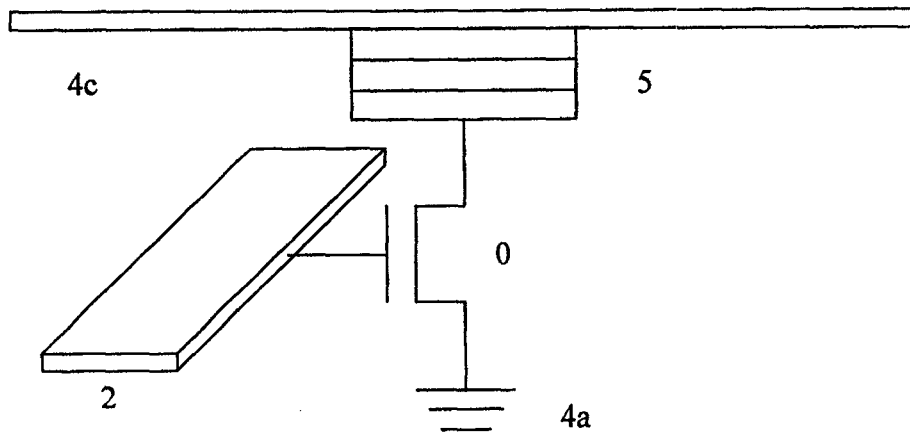


图 1A

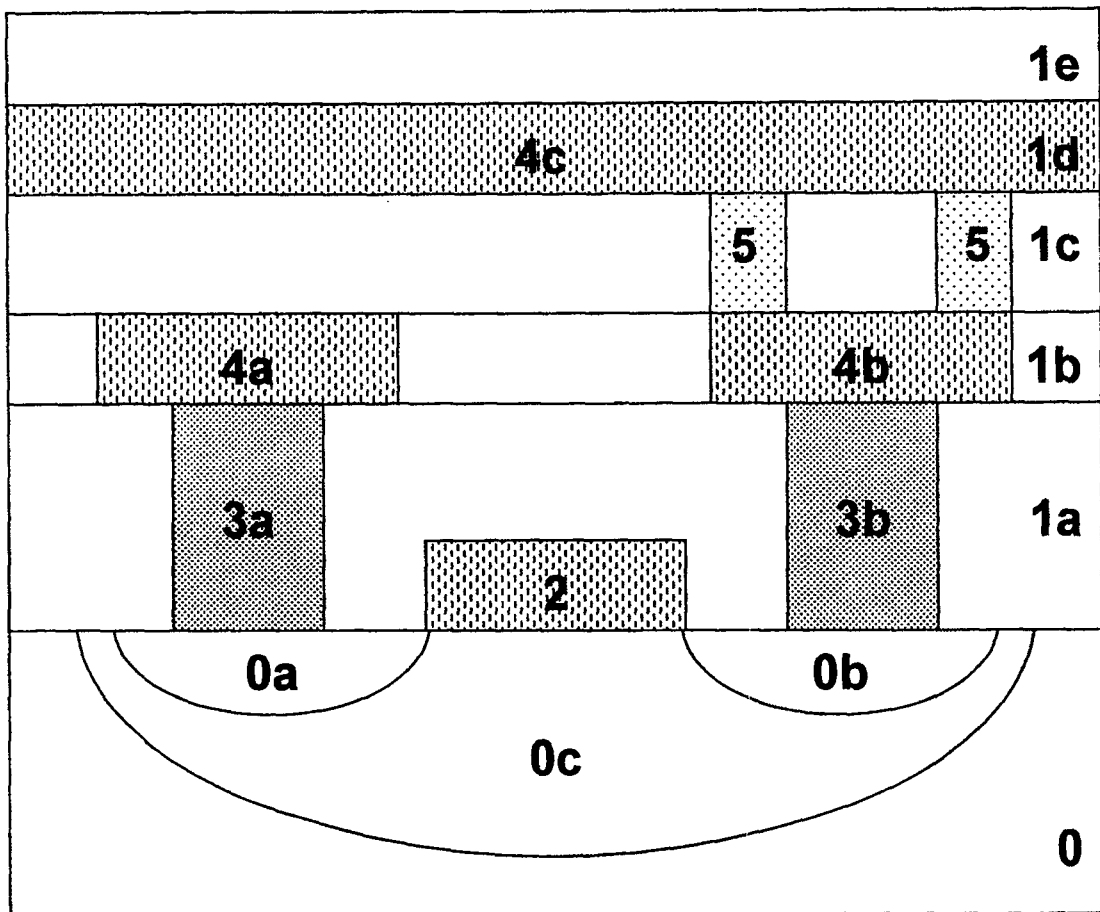


图 1B

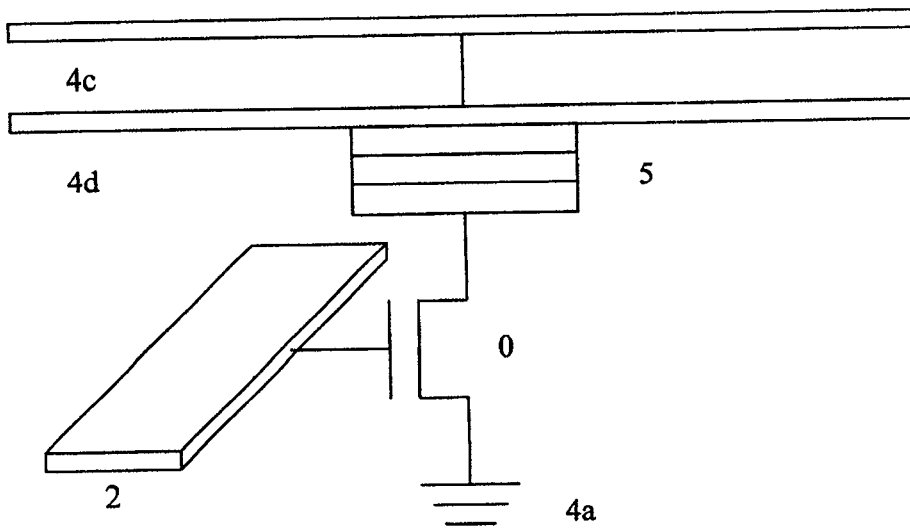


图 2A

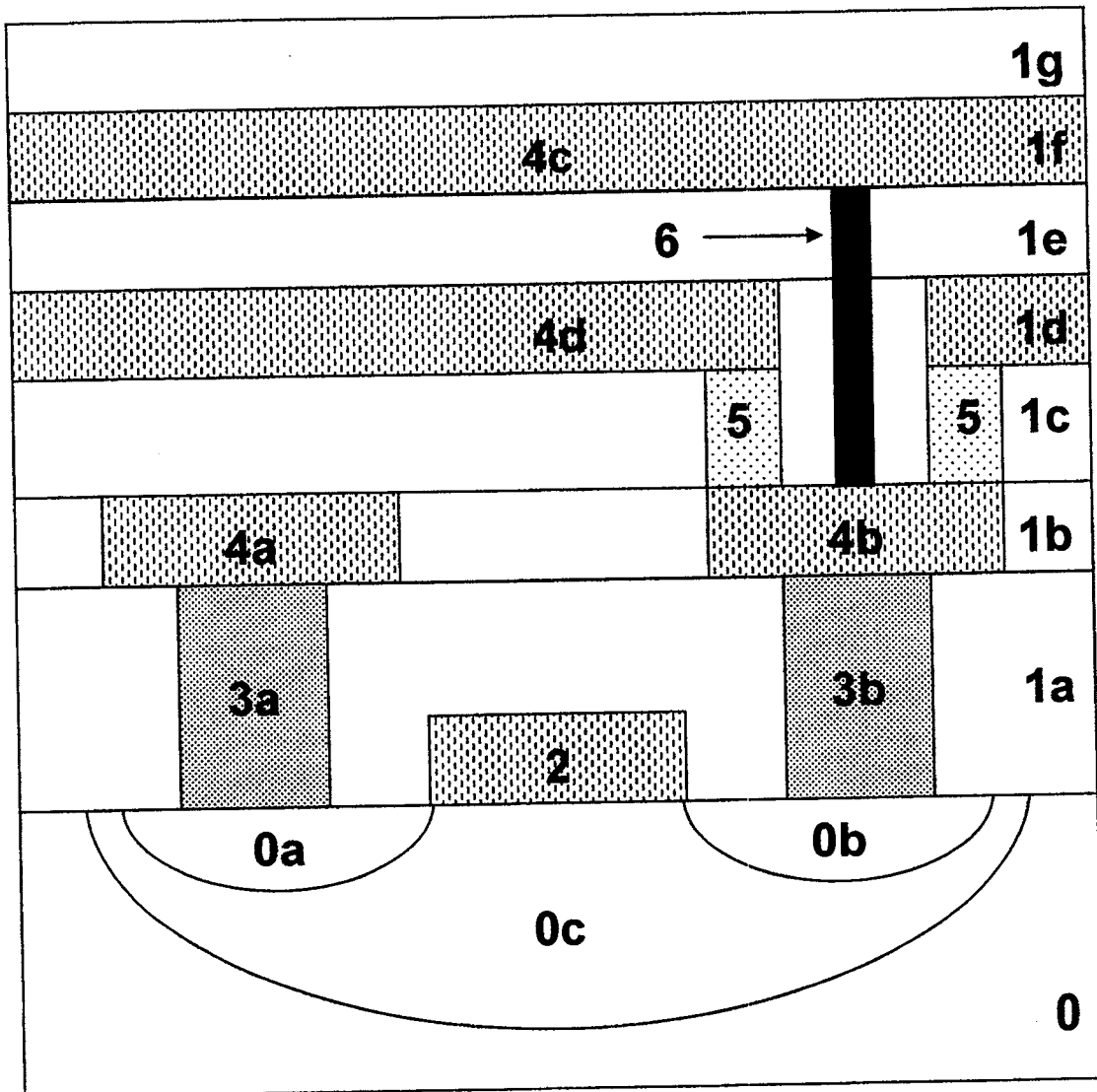


图 2B

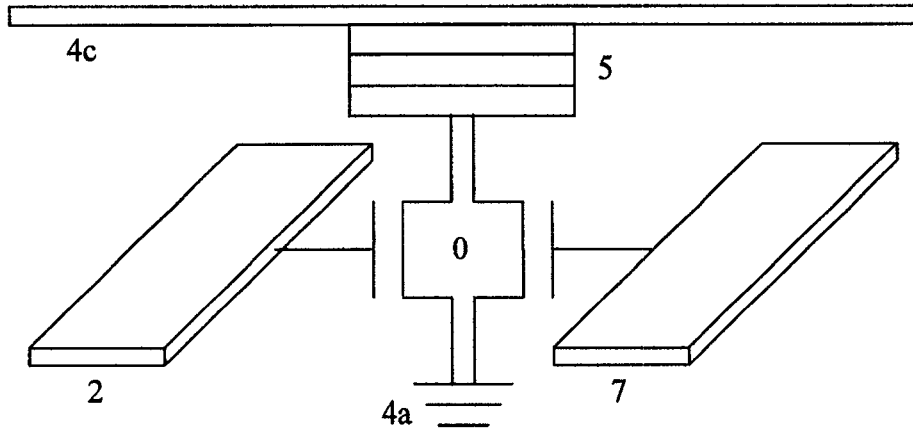


图 3A

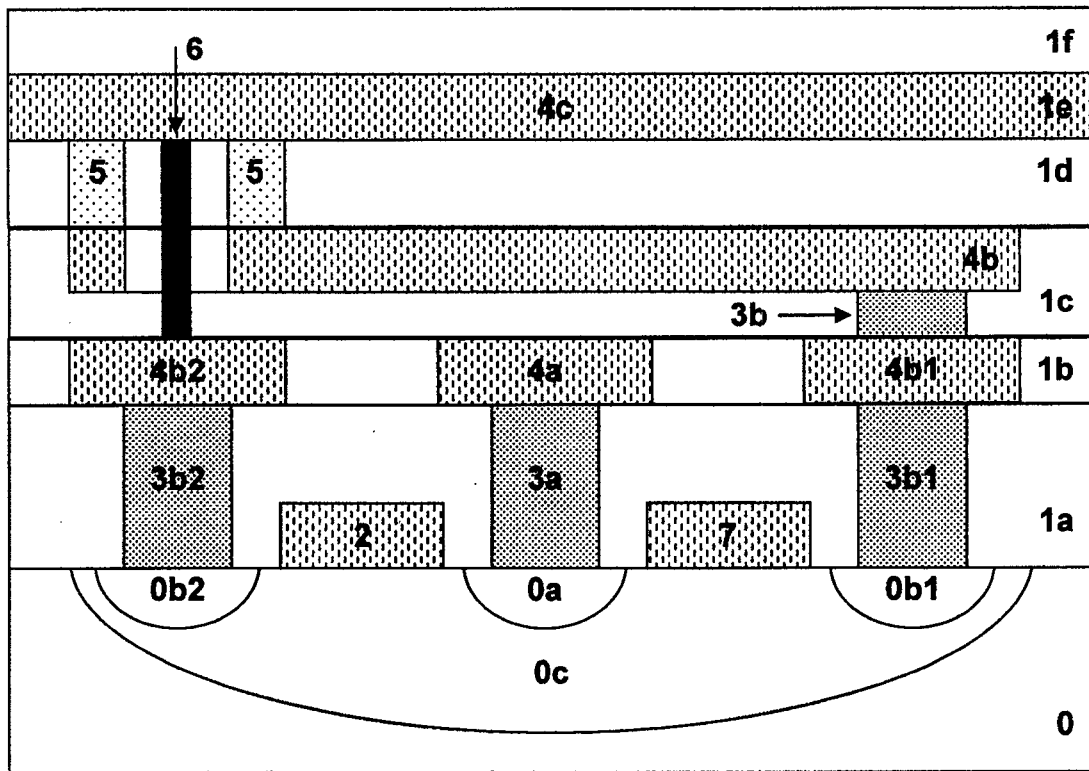


图 3B