



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03817782. X

[43] 公开日 2005 年 12 月 14 日

[11] 公开号 CN 1708810A

[22] 申请日 2003. 7. 11 [21] 申请号 03817782. X

[30] 优先权

[32] 2002. 7. 31 [33] US [31] 10/209,156

[86] 国际申请 PCT/US2003/021668 2003. 7. 11

[87] 国际公布 WO2004/012197 英 2004. 2. 5

[85] 进入国家阶段日期 2005. 1. 25

[71] 申请人 飞思卡尔半导体公司

地址 美国得克萨斯

[72] 发明人 布拉德利·N·恩格尔

贾森·A·詹尼斯基

[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

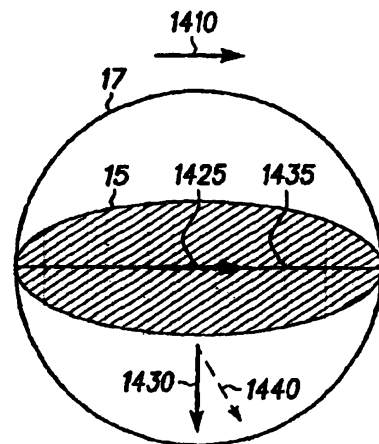
代理人 王永刚

权利要求书 4 页 说明书 21 页 附图 11 页

[54] 发明名称 磁电阻随机存取存储器

[57] 摘要

一种磁电阻隧道结存储单元，其包含磁电阻隧道势垒(16)、位磁区(15)、参考磁区(17)，以及在位和参考磁区感应施加磁场的电流线路(20, 30)。位磁区具有位磁矩(43, 40, 1425, 1625, 1950, 2315)，其在没有施加磁场时，在位易磁化轴方向(59, 1435)上具有极性。隧道势垒和位及参考磁区形成磁电阻隧道结器件(10, 72, 73, 74, 75, 76)。在一些实施方案中(73, 74, 75)，参考磁区具有与位易磁化轴不平行的参考磁矩(40, 1430, 1440, 1920, 1925)。在其它实施方案(76)中，参考磁区具有净参考磁矩基本上为零的磁化涡流(2310)。施加磁场会改变参考磁区的磁状态，以至于可以通过磁电阻测量来确定位磁区的磁状态。



1、一种磁电阻隧道结存储单元，其包含：

设计成形成磁电阻隧道势垒的电绝缘材料；

位于电绝缘材料一面上的位磁区，位磁区在不施加磁场时具有极性在位易磁化轴上的位磁矩；

位于电绝缘材料相反面上的参考磁区，其中电绝缘材料以及位和参考磁区形成磁电阻隧道结器件；以及

在位和参考磁区内感应施加磁场的装置；

其中参考磁区具有低的长径比，并且，在施加磁场的数值为零时，在该数值下磁电阻隧道结器件具有参考磁电阻，具有基本上与位易磁化轴正交的参考磁矩，并且

其中当施加磁场具有位于非转换磁场区内的读出值时，位磁矩的极性由参考磁矩的旋转导致的磁电阻隧道结器件的磁电阻变化的信号来可靠地指示，并且位磁矩的极性没有转换。

2、根据权利要求1的磁电阻隧道结存储单元，其中参考磁区包含受钉扎的磁性层来提供参考磁矩，其包含：

与电绝缘材料相邻的铁磁性层；

与铁磁性层相邻的反铁磁性层。

3、根据权利要求1的磁电阻隧道结存储单元，其中参考磁区包含：

钉扎方向与位易磁化轴正交的钉扎反铁磁性层；及

与钉扎反铁磁性层和电绝缘材料相邻并且提供参考磁矩的合成反铁磁性层，

其中参考磁矩具有转动反应强度，以至于参考磁矩受具有读出值的施加磁场的旋转，并且其中转动反应强度由合成反铁磁性层中的耦合层强度、磁性各向异性和合成反铁磁性层的铁磁性层的磁矩不平衡的组合来确定。

4、根据权利要求3的磁电阻隧道结存储单元，其中合成反铁磁

性层包含被反铁磁性耦合的 N 层铁磁性层，其中 N 是大于或等于 2 的整数。

5、根据权利要求 1 的磁电阻隧道结存储单元，其中参考磁区的长径比介于 0.6 和 1.4 之间。

6、根据权利要求 5 的磁电阻隧道结存储单元，其中参考磁区的长径比介于 0.8 和 1.2 之间。

7、根据权利要求 1 的磁电阻隧道结存储单元，其中位磁区包含被反铁磁性耦合的 N 层铁磁性层，其中 N 是大于或等于 2 的整数。

8、根据权利要求 6 的磁电阻隧道结存储单元，其中在位和参考磁区内感应施加磁场的装置包含：

通过位和参考磁区之一附近的字线；及  
与字线正交并通过位和参考磁区另一个附近的位线，  
其中字和位线基本上与位易磁化轴成 45 度取向。

9、根据权利要求 8 的磁电阻隧道结存储单元，其中在位和参考磁区内感应施加磁场的装置进一步包含通过参考磁区附近的读取线。

10、根据权利要求 6 的磁电阻隧道结存储单元，其中在位和参考磁区内感应施加磁场的装置包含：

通过位和参考磁区之一附近的字线；及  
与字线正交并通过位和参考磁区另一个附近的位线，  
其中字和位线之一基本上与位易磁化轴正交。

11、一种包含根据权利要求 1 的磁电阻隧道结存储单元的集成电路。

12、一种包含根据权利要求 1 的磁电阻隧道结存储单元的电-光设备。

13、一种磁电阻隧道结存储单元，其包含：  
设计成形成磁电阻隧道势垒的电绝缘材料；  
位于电绝缘材料一面上的位磁区，位磁区在不施加磁场时具有极性在位易磁化轴上的位磁矩；

位于电绝缘材料相反面上的参考磁区，其中电绝缘材料以及位和

参考磁区形成磁电阻隧道结器件；以及

在位和参考磁区内感应施加磁场的装置；

其中当施加磁场的数值为零时，参考磁区具有如下参考磁矩，其具有通过参考磁区的各向异性而产生、与位易磁化轴的正交线近似成相等的角度的两个稳定位置，并且

其中位磁矩的极性由磁电阻隧道结器件的磁电阻变化信号来可靠地指示，并且当施加磁场的分量在位易磁化轴上从第一极性改变至第二极性而施加磁场具有位于非转换磁场区内的读出值时，位磁矩的极性没有转换。

14、一种磁电阻隧道结存储单元，其包含：

设计成形成磁电阻隧道势垒的电绝缘材料；

位于电绝缘材料一面上的位磁区，位磁区在不施加磁场时具有极性在位易磁化轴上的位磁矩；

位于电绝缘材料相反面上的参考磁区，所述参考磁区具有大约为1的参考磁区长径比，并且，包含一个未受钉扎的铁磁性层，当施加磁场为零时，其厚度足以形成净磁矩为零的磁性涡流，其中电绝缘材料以及位和参考磁区形成磁电阻隧道结器件；以及

在位和参考磁区内感应施加磁场的装置；

其中在施加磁场的数值为零时，磁电阻隧道结器件具有参考磁电阻，并且

其中当施加磁场具有位于非转换磁场区和涡流磁场区内的读出值时，位磁矩的极性由磁电阻隧道结器件的磁电阻从参考磁电阻变化的信号来可靠地指示，并且位磁矩的状态没有转换。

15、一种磁电阻隧道结存储单元，其包含：

设计成形成磁电阻隧道势垒的电绝缘材料；

位于电绝缘材料一面上的位磁区，位磁区在不施加磁场时具有极性在位易磁化轴上的位磁矩；

位于电绝缘材料相反面上的参考磁区，其中电绝缘材料和位及参考磁区形成磁电阻隧道结器件；以及

在位和参考磁区内感应施加磁场的电流传输导体；

其中参考磁区具有参考磁矩，其至少具有相应于施加磁场第一和第二值的第一和第二值，并且

其中位磁矩的极性通过在施加磁场的第一和第二值下测量磁电阻隧道结器件的磁电阻来可靠地确定，并且

其中施加磁场的第一和第二值在位磁矩的极性没有转换的非转换磁场区内。

## 磁电阻随机存取存储器

### 相关申请交叉引用

本申请涉及转让给本申请受让人的 2002 年 6 月 28 日递交的标题为“CIRCUIT AND METHOD FOR READING A TOGGLE MEMORY CELL”的待审申请 US 第 10/184,811 号，因此该专利引入本文作参考。

### 技术领域

本发明涉及半导体存储器件，具体地说本发明涉及使用磁场的半导体随机存取存储器件。

### 背景技术

存储器件是电子系统中极为重要的组件。三种最重要的商用高密度存储技术是 SRAM(静态随机存取存储器)、DRAM(动态随机存取存储器)，以及 FLASH(一种非易失性随机存取存储器)。每种这些存储器件都使用电荷来存储信息，并且每种都的其自身的优点。SRAM 具有快的读取和写入速度，但是它是易失性的并且需要大的单元面积。DRAM 具有高的密度，但是它也是易失性的并且需要每几毫秒种刷新存储电容器。这种需求增加了电子控制设备的复杂性。

FLASH 是当今使用的主要非易失性存储器件。典型的非易失性存储器件使用在浮动氧化层中捕获的电荷来存储信息。FLASH 的缺点包括高电压需求和慢的程序及擦除时间。另外，FLASH 存储器在存储器失效之前具有  $10^4$ - $10^6$  次循环的不好的写入耐性。另外，为了维持合理的数据保持，栅氧化物的厚度不得不保持在允许电子隧穿的阈值之上，从而限制 FLASH 的尺寸缩小趋势。

为了克服这些缺点，正在评价新的磁性存储器件。一种器件是磁

电阻 RAM(下文称作“MRAM”)。MRAM 具有与 DRAM 相似速度性能的潜在性。但是,为了成为商业上有活力的,MRAM 必须具有与当前的存储技术可比的存储密度、对于未来的生产可规模化、在低压下操作、具有低的能耗,并且具有竞争的读/写速度。

传统的 MRAM 器件通程序设计位存储单元的自由磁性层,使其磁矩与固定磁性层平行或者反平行来存储信息。两个磁性层都位于形成磁电阻隧道结的薄绝缘势垒的任一面。该隧道结的电阻取决于磁矩的相对方向或者是低的(平行)或者是高的(反平行)。为了读取 MRAM 状态,位单元的电阻可与参考单元比较。参考单元通常是另一个 MRAM 位或者在制造时磁性设置的位集合,并且在 MRAM 操作期间不会转换。这些位可以结合形成用来比较的中点参考。所有处于低状态的位具有低于这些中点参考位的电阻,因此提供了确定位状态的方法。

这种途径的主要问题是由于材料和方法质量的变化,位位的电阻变化是显著的。这些变化有时使之不能区分并分离彼此的高、低和中点电阻。举例来说,如果低电阻位在显著高于平均值的分布的尾部,它可能与中点单元分布的尾部重叠,并且不能确定或被正确地确定。根据电阻变化量,大的阵列可能在重叠区具有许多位。

因此,补救先前技术固有的前述和其它缺点将是高度有利的。

#### 附图说明

结合下面的附图,从其下面优选实施方案的详细描述中,本发明的前述和进一步且更具体的目的和优点将对本领域技术人员变得更加明显。

图 1 是根据本发明实施方案的磁电阻随机存取存储器(MRAM)器件的简化剖视图。

图 2 是根据本发明实施方案具有传统位磁区的 MRAM 器件的表示字和数位线的简化平面图。

图 3 是表示在参照图 2 所述的 MRAM 器件中产生位磁区极性交

换的施加磁场值的图。

图 4 是根据使用 Savtchenko 写入技术的本发明实施方案的 MRAM 器件的简化剖视图。

图 5 是参照图 4 所述的 MRAM 器件部分的表示字和数位线的简化平面图。

图 6 是表示在参照图 4 所述的 MRAM 器件中产生直接或触发写入模式的磁场振幅组合模拟结果的图。

图 7 是表示参照图 4 所述的 MRAM 器件字电流和位电流的时间图。

图 8 是表示在参照图 4 所述的 MRAM 器件中将‘1’写成‘0’时，触发写入模式下磁电阻随机存取存储器件磁矩旋转的矢量图。

图 9 是表示在参照图 4 所述的 MRAM 器件中将‘0’写成‘1’时，触发写入模式下磁电阻随机存取存储器件磁矩旋转的矢量图。

图 10 是表示在参照图 4 所述的 MRAM 器件中将‘1’写成‘0’时，直接写入模式下磁电阻随机存取存储器件磁矩旋转的矢量图。

图 11 是表示在参照图 4 所述的 MRAM 器件中将‘0’写成已经为‘0’的状态时，直接写入模式下磁电阻随机存取存储器件磁矩旋转的矢量图。

图 12 是在参照图 4 所述的 MRAM 器件中只打开位电流时字电流和位电流的时间图。

图 13 是表示在参照图 4 所述的 MRAM 器件中只打开位电流时磁电阻随机存取存储器件磁矩旋转的矢量图。

图 14 是根据本发明实施方案的包括 MRAM 器件的部分 MRAM 阵列的剖视图。

图 15-18 是用来描述参照图 4 所述的 MRAM 器件的读取操作的平面视图和图形。

图 19 是根据本发明实施方案的包括 MRAM 器件的部分 MRAM 阵列的剖视图。

图 20 是根据本发明实施方案参照图 20 描述的 MRAM 器件的平



面图。

图 21 和 22 是表示参照图 20 所述的 MRAM 器件读取操作期间电阻值的图。

图 23 是根据本发明实施方案的包括 MRAM 器件的部分 MRAM 阵列的剖视图。

图 24 和 25 是表示参照图 23 所述的 MRAM 器件的平面图。

### 具体实施方式

参照图 1, 根据本发明, 表示了一般化的 MRAM 阵列 3 简化剖视图。在该图中, 只表示了一个磁电阻存储器件(单元)10, 但是应当理解 MRAM 阵列 3 包括大量的 MRAM 器件 10, 并且在描述读取方法时为了简化起见只表示了一个这种器件。

MRAM 器件 10 是磁电阻隧道结存储单元, 或磁电阻隧道结器件 (MTJD), 包含夹在作为字线 20 和位线 30 的写入导体之间的材料层。字线 20 和位线 30 包括电流通过的导电材料。在该图中, 字线 20 位于 MRAM 器件 10 顶部并且位线 30 位于 MRAM 器件 10 的底部并且与字线 20 成 90 度角(参阅图 2 和 3)。应当理解诸如字线 20 和位线 30 的导体对于高效的读取和写入操作, 不需要与 MRAM 器件 10 的其它层物理接触, 该导体只需要与施加了磁场的区域足够近, 以至于磁场是有效的。

MRAM 器件 10 包括位磁区 15、参考磁区 17 和形成用作隧道势垒 16 的层的电绝缘材料, 以及那些输运影响 MRAM 器件 10 操作的电流的字线 20 和位线 30 部分。位磁区 15 和参考磁区 17 每个都包含多于一层, 其中有些具有与此相关的磁矩(所有的磁矩在本文中用矢量表示)。举例来说, 一些传统的 MRAMs 具有只是一个铁磁性层的位磁区 15, 并且一些传统的 MRAMs 具有是多层不平衡的合成反铁磁性区的位磁区 15。位磁区 15 和参考磁区 17 位于与隧道势垒 16 相邻处, 并分别在其相反面。MTJD 的电阻由位磁矩和参考磁矩的相对极性确定。位磁矩位于位磁区 15 与隧道势垒 16 相邻的地方。参考磁矩位于

参考磁区 17 与隧道势垒 16 相邻的地方。磁矩是铁磁性材料的物理性质。磁性材料和直接与隧道势垒相邻的磁区 15 或 17 的极化相对角度确定了高或低状态。在本文描述的实施方案中，位磁区是自由的铁磁性区，意指位磁矩在施加磁场时可以自由旋转。位磁矩在沿着磁轴不施加任何磁场的情况下具有两个稳定的极性(状态)，所述磁轴在本文中称作“位易磁化轴”，并且在沉积磁性材料和制造 MRAM 阵列 3 的磁区 15 时确定。与位易磁化轴正交的轴称作“难磁化轴”。

参照图 2，根据包括传统位磁区 15 的本发明实施方案，表示了包括 MRAM 器件 71 的部分 MRAM 阵列 4 的简化平面图。MRAM 器件 71 具有参照图 1 所述的结构，精细地描述是 MRAM 器件 71 的位磁区 15 是具有位磁矩 41 的传统结构。表明图 2 的 MRAM 4 中位磁区 15 具有基本上圆形的形状，但是可以可选地具有长径比基本上大于 1 的其它形状，例如椭圆。位磁矩 41 在与本实施例中是字线 20 的写入导体基本上平行的方向上沿着各向异性的位易磁化轴 59 取向。为了简化 MRAM 器件 71 的描述，所有方向参照所示的 x-和 y-坐标系 100 以及顺时针旋转方向 94 和逆时针旋转方向 96。在 MRAM 4 中，如果在正 x-方向流动，定义字电流 60 为正，并且如果在正 y-方向流动，定义位电流 70 为正。字线 20 和位线 30 的目的是在 MRAM 器件 10 中产生施加磁场。正的字电流 60 将感应圆周字磁场， $H_w$  80，并且正的位电流 70 将感应圆周位磁场， $H_D$  90。因为字线 20 在元件平面内 MRAM 器件 10 的上方，所以对于正字电流 60，将在正 y-方向上向 MRAM 器件 10 施加  $H_w$  80。相似地，因为位线 30 在元件平面内 MRAM 器件 10 的下方，所以对于正位电流 70，将在正 x-方向上向 MRAM 器件 10 施加  $H_D$  90。应当理解对于正和负电流的定义是任意的，并且此处只是出于举例的目的而定义。反转电流的作用是改变在 MRAM 器件 10 内感应的磁场的方向。电流感应磁场的行为对于本领域技术人员是公知的，并且不用更详细地说明。信息以传统方式存储在位磁区 15 中，使用字线 20 和位线 30 同时产生能够沿着位易磁化轴转换位磁矩至两种极性适当的一种的施加磁场。

参照图 3, 该图表示其特征为需要施加磁场在典型的具有一层位磁区 15 的传统 MRAM 器件 71 中转换位磁矩 41 的极性。该图的水平轴,  $H_{\text{HARD}}$ , 表示施加的磁场在难磁化轴上的分量, 并且该图的垂直轴,  $H_{\text{EASY}}$ , 表示施加的磁场在位易磁化轴上的分量。存在施加位于转换界限 305 外的磁场操作的磁场区 315, 从而保证位磁矩 41 的极性在 MRAM 阵列 4 的所有良好的 MRAM 器件 71 中转换。相似地, 存在施加位于非转换界限 310 内的磁场操作的磁场区 320, 从而保证位磁矩 41 的极性在 MRAM 阵列 4 的所有良好的 MRAM 器件 71 中不转换。(对于 MRAM 器件 71 的任何单次实验, 界限 305, 310 合并成单线)。磁场区 315、320 具有传统的星形。使用参照图 13-22 在下面更详细描述参考磁区 17, 从位磁区 15 中读取信息。

参照图 4, 根据使用在本文中参照图 4-13 详细描述 Savtchenko 写入技术的本发明实施方案, 表示了包括 MRAM 器件 72 的部分 MRAM 阵列 5 的剖视图。MRAM 器件 72 具有参照图 1 描述的结构, 精细地描述是位磁区 15 至少包含三层并且具有参照图 4-13 实现的磁矩。(参考磁区 17 在下面参照图 14-25 更详细地描述)。本实施例中的位磁区 15 是三层结构, 它具有夹在两个铁磁性层 45 和 55 之间的反铁磁性耦合间隔层 65, 假定称之为合成反铁磁性(下文称作“SAF”)层。反铁磁性耦合间隔层 65 具有厚度 46, 并且铁磁性层 45 和 55 分别具有厚度 42 和 51。

反铁磁性耦合间隔层 65 优选至少包括以下元素之一: Ru、Os、Re、Cr、Rh、Cu、Nb、Mo、Ta、W、Ir、V, 或者它们的组合, 并且本身不是反铁磁性材料; 它是耦合层, 这对于产生 SAF 层的类反铁磁性性质是关键。此外, 铁磁性层 45、55 至少包括 Ni、Fe、Co 元素或其组合之一。同样, 应当理解位磁区 15 可以包括除了三层结构以外的合成反铁磁性层材料结构, 并且在本实施方案中使用三层结构只是为了举例说明的目的。举例来说, 一种这种合成反铁磁性层材料结构可能包括铁磁性层/反铁磁性耦合间隔层/铁磁性层/反铁磁性耦合间隔层/铁磁性层结构的五层堆叠。铁磁性层的数量记为 N。

铁磁性层 45、55 分别具有各自矢量值为  $M_1$  和  $M_2$  的磁矩 58 和 53(参阅图 5)。位磁区 15 的写入状态由与隧道势垒 16 相邻的磁矩 58 来确定。为了解释 Savtchenko 写入技术,还定义了磁矩 58 和 53 的矢量合成,净磁矩 40。磁矩 58、53 通常通过反铁磁性耦合间隔层 65 的耦合反平行取向。反铁磁性耦合还可以通过 MRAM 器件 72 中层的磁静场来产生。因此,间隔层 65 在消除两个铁磁性层 45、55 之间的铁磁性耦合之外,不一定必须提供任何附加的反铁磁性耦合,并且因此可以是诸如 AIO 的绝缘体或诸如 Ta 或 Cu 的导体。

MRAM 器件 72 的两个铁磁性层 45、55 中的磁矩 58、53 可以具有不同的厚度或材料,从而提供由  $\Delta M=(M_2-M_1)$  给出的净磁矩 40。在 Savtchenko 写入技术的情况中,该三层结构几乎是平衡的,即当不施加磁场时  $\Delta M$  十分小或者是零。位磁区 15 三层结构的磁矩在施加的磁场下可以自由旋转。在零场下,与隧道势垒 16 相邻的磁矩,即位磁矩 58 在沿着易磁化轴的两个极性方向之一上稳定。

用来读取位磁矩 58 极性的通过 MRAM 器件 72 的测量电流取决于隧道磁电阻,它受位磁矩 58 和参考磁区 17 的参考磁矩的方向和大小控制。当这两个磁矩平行时,MRAM 器件的电阻是低的,并且偏压感应出较大的通过 MRAM 器件 72 的测量电流。该状态被定义为“1”。当这两个磁矩是反平行的时,MRAM 器件电阻是高的并且施加的偏压感应较小的通过器件的测量电流。该状态被定义为“0”。应当理解这些定义是任意的并且可以是相反的,但是在本实施例中是出于举例说明的目的。因此,在磁电阻存储器中,数据存储通过施加引起磁区 15 中的磁矩相对于磁区 17 沿着位易磁化轴 59 在平行和反平行之一的方向上取向的磁场来实现,并且读取写入状态依赖于电阻测量,其取决于位磁矩相对于参考磁矩的极性(这种相同的操作对于本文所述的所有 MRAM 器件是真实的)。

写入 MRAM 器件 72 的方法依赖近平衡 SAF 三层结构的“自旋-翻转(spin-flop)”现象,这对于本领域的一般技术人员是公知的。此处,术语“近平衡”定义为  $M_1$  和  $M_2$  彼此均在彼此的 10%之内。“自旋-翻

转”现象通过旋转铁磁性层的磁矩降低了施加磁场的总磁能,以至于它们名义上与施加的磁场方向正交,但仍显著地彼此反平行。旋转,或“翻转”,结合施加磁场方向上每个铁磁性磁矩小的偏离解释了总磁能的降低。

当在本实施例三层结构的两个铁磁性层之间举例说明反铁磁性耦合层时,应当理解铁磁性层可以通过其它方式,例如静磁场或其它特征被反铁磁性耦合。举例来说,当单元的长径比降低为五或更小时,铁磁性层与静磁通量闭合反平行耦合。

MRAM 器件 72 优选具有非圆形的三层结构,其特征为长度/宽度比在 1 至 5 的范围内。应当理解 MRAM 器件 72 的位磁区 15 可以具有其它形状,例如方形、椭圆形、矩形,或菱形,但是为简化起见作为圆形来举例说明。

此外,在 MRAM 阵列 5 的制造期间,沉积每个后续层(即 30、55、65 等),或者顺序形成,并且每个 MRAM 器件 72 通过半导体工业中公知的任何技术中的选择性沉积、光刻加工、蚀刻等来定义。至少铁磁性层 45 和 55 沉积期间,提供磁场来设定位易磁化轴。所提供的磁场对于磁矩 53 和 58 产生优选的各向异性轴。选择位易磁化轴 59 在字线 20 和位线 30 之间成  $45^\circ$  角。

参照图 5,根据参照图 3 所述的本发明的实施方案,表示了部分 MRAM 阵列 5 的简化平面图。x-和 y-坐标系 100、旋转方向 94、96 和磁场及与字电流 60 和位电流 70 相关的极性定义与图 2 中相同。为了简化描述,假设 N 等于 2,以至于 MRAM 器件 72 在位磁区 15 中包括一个三层结构,具有磁矩 53 和 58 以及净磁矩 40。另外,只举例说明位磁区 15 的磁矩。

为了说明 MRAM 阵列 5 写入方法是怎样工作的,假设磁矩 53 和 58 的优选各向异性轴相对于负 x-和负 y-方向成  $45^\circ$  角,并且相对正 x-和正 y-方向成  $45^\circ$  角。举例来说,图 4 表明磁矩 53 相对于负 x-和负 y-方向成  $45^\circ$  角。因为磁矩 58 通常与磁矩 53 反平行取向,所以它相对于正 x-和正 y-方向成  $45^\circ$  角。使用这种初始取向来表现写入方法的实

施例，这将在下面讨论。

参照图 6，该图表示位磁区 15 的 SAF 三层结构模拟转换行为的结果。该模拟使用两个单畴磁性层，其具有几乎相同的磁矩(近平衡的 SAF)，具有内在各向异性且被反铁磁性耦合，并且其磁化动力学通过公知的 Landau-Lifshitz 等式来描述。x-轴是单位为奥斯特的字线磁场振幅，y-轴是单位为奥斯特的位线磁场振幅。如图 7 中的时间图所示，磁场以脉冲序列 600 来施加。脉冲序列 600 包括作为时间函数的字电流 60 和位电流 70。

图 6 举例说明了操作的三个磁场区。在磁场区 92 中，没有转换。对于磁场区 95 中的 MRAM 操作，直接写入方法是有效的。当使用直接写入方法时，不需要确定 MRAM 器件的初始状态，因为该状态仅在被写入的状态与存储的状态不同时才被转换。通过字线 20 和位线 30 中的电流方向来确定写入状态的选择。举例来说，如果要写入‘1’，那么现两个线中的电流方向将是正的。如果‘1’已经存储在元件中，并且正要写入‘1’，那么 MRAM 器件的最终状态将继续为‘1’。此外，如果存储了‘0’并且要用正电流写入‘1’，那么 MRAM 器件的最终状态将为‘1’。当在字和位线中使用负电流来写入‘0’时，可以获得相似的结果。因此，不管其初始状态如何，使用电流脉冲的适当极性可以程序设计任何一种状态为所需的‘1’或‘0’。在本发明整个公开内容中，磁场区 95 中的操作将定义为“直接写入模式”。

对于磁场区 97 中的 MRAM 操作，触发写入方法是有效的。当使用触发写入方法时，在写入前需要确定 MRAM 器件的初始状态，因为不管电流的方向如何，只要对于字线 20 和位线 30 选择相同的极性电流脉冲，每次 MRAM 器件被写入时其状态转换。举例来说，如果初始存储了‘1’，那么在一个正电流脉冲序列流过字和位线后，器件的状态将被转换成‘0’。对存储的‘0’态重复正电流脉冲序列，使其返回至‘1’。因此，为了能够将存储元件写成所需的状态，必须首先读取 MRAM 器件 72 的初始状态并与要写入的状态比较。读取和比较可能需要附加的逻辑电路，包括存储信息的缓冲器和比较存储状态的比较

器。只有当存储的状态和要写入的状态是不同的时 MRAM 器件 72 才被写入。这种方法的优点之一是降低了能耗，因为只有不同的位被转换。使用触发写入方法的其它优点在于只需要单一极性的电压，因此可以使用更小的晶体管来驱动 MRAM 器件。在本发明整个说明中，磁场区 97 的操作将被定义为“触发写入模式”。

如前所述，两种写入方法都涉及在字线 20 和位线 30 中提供电流，以至于磁矩 53 和 58 可以在两种优选方向之一上取向。为了完全解释两种转换模式，现在给出具体的实施例来描述磁矩 53、58 和 40 的时间演化。

参照图 8，该矢量图表示在 MRAM 器件 72 中使用脉冲序列 600 来将‘1’写成‘0’的触发写入模式。在该图中， $t_0$  时磁矩 53 和 58 在图 4 所示的优选方向上取向。该方向定义为‘1’。

$t_1$  时，打开正字电流 60，其感应在正 y-方向上取向的  $H_w$  80。正  $H_w$  80 的作用是引起近平衡的反排列 MRAM 三层“翻转”，并且与施加磁场方向大约成  $90^\circ$  取向。铁磁性层 45 和 55 之间的有限反铁磁交换作用允许磁矩 53 和 58 现在向磁场方向偏斜一个小的角度，并且净磁矩 40 在磁矩 53 和 58 之间对着所述角度并与  $H_w$  80 成一行。因此，磁矩 53 沿顺时针方向 94 旋转。因为净磁矩 40 是磁矩 53 和 58 的矢量加和，所以磁矩 58 也沿顺时针方向 94 旋转。

$t_2$  时，打开正位电流 70，其感应正  $H_D$  90。因此，净磁矩 40 同时通过  $H_w$  8 指向正 y-方向，并通过  $H_D$  90 指向正 x-方向，其具有引起净磁矩 40 进一步沿顺时针方向 94 旋转，直至其通常在正 x-和正 y-方向之间成  $45^\circ$  角取向的作用。因此，磁矩 53 和 58 也进一步沿顺时针方向 94 旋转。

$t_3$  时，关闭字电流 60，以至于现在只有  $H_D$  90 指向净磁矩 40，其现在将沿着正 x-方向取向。磁矩 53 和 58 现在通常指向通过其各向异性难磁化轴不稳定点的角度。

$t_4$  时，关闭位电流 70，所以磁场力对净磁矩 40 不起作用。因此，磁矩 53 和 58 将变成在其最近的优选方向上取向，从而最小化各向异

性能。在此情况中，磁矩 53 的优选方向相对于正 x-和正 y-方向成  $45^\circ$  角。该优选方向还与  $t_0$  时磁矩 53 的初始方向成  $180^\circ$ ，并且定义为‘0’。因此，MRAM 器件 72 已经被转换成‘0’。应当理解 MRAM 器件 72 还可以通过使用字线 20 和位线 30 中的负电流沿着逆时针方向 96 旋转磁矩 53、58 和 40 来转换，但是只是出于举例说明的目的来表示。

参照图 9，该矢量图表示在 MRAM 器件 72 中使用脉冲序列 600 来将‘0’写成‘1’的触发写入模式。举例说明了在如前所述的每个时间  $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$  和  $t_4$  时的磁矩 53 和 58，以及净磁矩 40，表明使用相同的电流和磁场方向转换 MRAM 器件从‘0’至‘1’的能力。因此，使用触发写入模式写入 MRAM 器件 72 的状态，这相应于图 6 中的磁场区 97。

对于直接写入模式，假设磁矩 53 在数值上大于磁矩 58，以至于磁矩 40 指向与磁矩 53 相同的方向，但在零场中具有较小的值。这种不平衡的磁矩产生偶极能量，其在施加磁场下趋向于排列磁矩，从而打破了近平衡 SAF 的对称性。因此，仅在给定电流极性的一个方向上发生转换。

参照图 10，该矢量图表示在 MRAM 器件 72 中使用脉冲序列 600 和直接写入模式将‘1’写成‘0’的实施例。此处，存储状态初始为‘1’，磁矩 53 相对于负 x-和负 y-方向成  $45^\circ$ ，并且磁矩 58 相对于正 x-和正 y-方向成  $45^\circ$ 。在使用正的字电流 60 和正的位电流 70 施加上述的脉冲序列后，以与前面所述的触发写入模式相似的方式进行写入。注意  $t_1$  时磁矩再次翻转，但由于不平衡的磁矩和各向异性，所成的角度从  $90^\circ$  倾斜。在  $t_4$  后，MRAM 器件 10 已经被转换成‘0’态，其净磁矩 40 按照需要与正 x-和正 y-方向成  $45^\circ$  取向。当现在只使用负的字电流 60 和负的位电流 70 将‘0’写成‘1’时，得到相似的结果。

参照图 11，该矢量图表示当新的状态与已经存储的状态相同时，对于使用直接写入模式写入的实施例 MRAM 器件中磁矩的旋转。在本实施例中，MRAM 器件 72 中已经存储了‘0’，并且现在重复电流脉冲序列 600 来存储‘0’。磁矩 53 和 58 在  $t_1$  时试图“翻转”，但因为不平衡磁矩肯定对施加的磁场有作用，所以旋转减小。因此，从相反的状态



态旋转存在附加的能垒。 $t_2$ 时，主导磁矩 53 与正 x-轴几乎对齐，并且与其初始各向异性方向成小于  $45^\circ$  的角度。 $t_3$  时，磁场指向正 x-轴。现在系统通过相对于施加磁场改变 SAF 磁矩对称性而降低其能量，而不是进一步顺时针旋转。被动磁矩 58 穿过 x-轴并且系统稳定，主导磁矩 53 返回至接近其原始方向。因此，在除掉磁场的  $t_4$  时，存储在 MRAM 器件 72 中的状态仍保持为‘0’。这种序列阐明了如图 6 中磁场区 95 所示的直接写入模式机理。因此，在这种约定下，为了写入‘0’在字线 20 和位线 30 上均需要正的电流，相反为了写入‘1’，在字线 20 和位线 30 上均需要负的电流。

如果施加较大的磁场，最终与翻转相关的能量降低超过防止触发事件的不平衡磁矩偶极能量产生的附加能垒。此时，发生触发事件并且由磁场区 97 描述转换。

如果时间  $t_3$  和  $t_4$  等于或接近于尽可能相等，可以扩展应用直接写入模式的磁场区 95，即触发模式磁场区 97 可以被移至更高的磁场。在此情况中，磁场方向在字电流 60 打开时相对于位各向异性轴开始成  $45^\circ$ ，然后当位电流 70 打开时，移动至与位各向异性轴平行。本实施例与典型的磁场应用序列相似。但是，现在字电流 60 和位电流 70 基本上同时关闭，以至于磁场方向不会进一步旋转。因此，施加磁场必须足够大，以至于净磁矩 40 已经移过其难磁化轴不稳定点，并且字电流 60 和位电流 70 打开。此时不太可能发生触发写入模式事件，因为磁场方向现在仅旋转  $45^\circ$ ，而不是前面的  $90^\circ$ 。基本上同时落入时间  $t_3$  和  $t_4$  的优点是现在对磁场升高时间  $t_1$  和  $t_2$  的顺序没有附加限制。因此，磁场可以以任何顺序打开，或者还可以基本上同时打开。

参照图 4-13 描述的写入方法，本文称作 Savtchenko 写入技术，是高度选择性的，因为只有时间在  $t_2$  和  $t_3$  之间字电流 60 和位电流 70 已经打开的 MRAM 器件将转换状态。该特征在图 12 和 13 中阐述。图 12 是表示当字电流 60 没有打开且位电流 70 打开时，MRAM 器件 72 中使用的脉冲序列 600 的时间图。图 13 是表示 MRAM 器件 72 状态的相应行为的矢量图。 $t_0$  时，磁矩 53 和 58 以及净磁矩 40 如图 5 中

所述取向。在脉冲序列 600 中，位电流 70 在  $t_1$  时打开。此时， $H_D$  90 将引起净磁矩 40 指向正 x-方向。

因为字电流 60 决没有打开，磁矩 53 和 58 不会通过其各向异性的难磁化轴不稳定点旋转。结果，当在  $t_3$  时关闭位电流 70 时，磁矩 53 和 58 将在最近的优选方向上重新取向，在此情况中为  $t_0$  时的初始方向。因此，MRAM 器件 72 的状态没有转换。应当理解如果在与上述相似的时间下打开字电流 60 并且不打开位电流 70，将得到相同的结果。此外，应当理解即便字电流 60 和位电流 70 都是同时打开并具有不变化的数值，也得到相同的结果。这种特征确保在阵列中只有一个 MRAM 器件将被转换，而其它的器件仍保持其初始状态。结果，避免了无意的转换并且位错误率最小化。因此，在与参照图 2 和 3 描述的 MRAM 器件 71 中使用的类似途径，以及 MRAM 器件 72 的非转换值中，施加磁场具有一个值的范围，在该范围内能保证位磁矩在位易磁化轴 59 中不会从一个稳定的极性旋转至另一个。尽管应当理解商业上发布的 MRAM 非转换磁场区大小将略小于一个器件模拟的磁场区的图示大小，但所述值的范围相应于参照图 6 描述的磁场区 92，这说明了生产差异。与图 3 所示传统的非转换磁场区相比，使用 Savtchenko 技术转换位磁矩的 MRAM 器件基本上对只有两个正交电流线之一产生的磁场不太敏感。

参照图 14，根据本发明的实施方案，其中位磁区 15 包含在本文中参照图 2 和参照图 4-6 描述的任何结构之一，表示了包括 MRAM 器件 73 的部分 MRAM 阵列 6 的剖视图。此外，MRAM 器件 73 中的参照磁区 17 是提供参照磁矩的受钉扎(pinned)磁层，包含与形成隧道势垒 16 的电绝缘材料相邻的铁磁性层 81，以及与铁磁性层 81 相邻的反铁磁性层 82。反铁磁性层 82 优选包括反铁磁性材料，例如铁-锰、铱-锰，或铂-锰合金。铁磁性层 81 至少包括元素 Ni、Fe、Co 或者它们的组合之一。

使用图 15-18 来描述 MRAM 器件 73 的读取操作。参照图 15，根据本发明的实施方案，表示 MRAM 器件 73 的平面图。为了清晰起

见,所示的位磁区 15 具有基本上大于 1 的长径比并且相应于参照图 2 描述的 MRAM 器件 71 的传统位磁区 15, 或者参照图 4-6 描述的 MRAM 器件 72 的 Savtchenko 位磁区 15, 而且产生表现出两个位磁矩稳定值的位易磁化轴 1435。应当理解有其它的方式来实现产生位易磁化轴 1435 的各向异性。当位易磁化轴 1435 上施加磁场的分量 1410 具有零值时, 参考磁区 17 具有低的长径比来降低形状各向异性, 并且具有基本上与位易磁化轴 1435 正交的参考磁矩 1430。低的长径比优选在 0.8 至 1.2 的范围内, 但可以是其它接近 1 的值, 即在 0.6 至 1.4 的范围内。当位易磁化轴 1435 中的施加磁场具有零值时, 参考磁矩 1430 的取向导致在本文中标识为参考磁电阻 1510 的磁电阻。在制造参考磁区 17 期间, 按照本领域一般技术人员是公知的方式建立在不施加磁场的条件下参考磁矩 1430 基本上正交的方向。在图 15 中表示的实施例中位磁矩的极性 1425 被定义为“0”态。参照图 16, 该图表示对于图 15 中描述的实施例, MRAM 器件 73 的磁电阻对位易磁化轴 1435 中施加磁场分量的图。当位易磁化轴 1435 中施加磁场的分量 1410 为读出(sense)值, 该值位于与位磁区 15 的具体实施方案相关的非转换磁场区内(例如参照图 3 描述的磁场区 320 和参照图 6 描述的磁场区 92), 参考磁矩被施加的磁场旋转 1440, 并且 MRAM 器件 73 的磁电阻从参考磁电阻 1510 改变成小于参考磁电阻 1510 的磁电阻 1520 的第一个读出值, 因为位于位易磁化轴 1435 中的旋转参考磁矩 1425 分量的极性与“0”态中位磁矩的极性 1440 相反。这种磁电阻变化具有负的信号。

参照图 17, 根据本发明的实施方案, 表示了 MRAM 器件 73 的另一个平面图。在本实施方案中, 除了位磁矩的极性 1625 定义为“1”态外, 每件事物都与参考图 15 描述的情况相同。参照图 18, 对于图 17 中描述的实施方案, 该图表示 MRAM 器件 73 的磁电阻对位易磁化轴 1435 中施加磁场分量的图。此时, 当位易磁化轴 1435 中施加磁场分量 1410 为读出值时, 参考磁矩被施加的磁场旋转 1440, 并且 MRAM 器件 73 的磁电阻从参考磁电阻 1510 改变成大于参考磁电阻 1510 的磁电阻 1720 的第二个读出值, 因为位于位易磁化轴 1435 中的旋转参考

磁矩 1425 分量的极性与“0”态中位磁矩的极性 1440 一致。这种磁电阻变化具有正的信号。

设计并且结合参考磁矩 1430 的钉扎强度来实现读取操作的施加磁场，以至于当使用施加磁场的读出值时，位磁矩的状态(极性)可靠地由 MRAM 器件 73 从参考磁电阻 1510 的磁电阻变化信号来指示。通常，通过选择反铁磁性层 82 和铁磁性层 81 的材料和制造工艺参数，以至于当施加磁场处于选择的读出值(位于非转换磁场区 320(图 3)，92(图 6)内)时，参考磁矩充分地旋转来感应隧道势垒 16 磁电阻的可靠信号变化，参考磁矩 1430 的钉扎强度被降低至传统的“固定”参考磁矩的钉扎强度以下。因此，如同先有技术的 MRAMs 所做的一样，已经描述了一种可靠的发明，其避免了与使用外部参考来确定存储的位磁矩状态相关的事件。如同参考图 4-13 所述，对于位磁区 15，使用 Savtchenko 技术优选地具体体现了 MRAM 器件 73。这是由于读取操作期间，Savtchenko 技术位磁矩比传统的技术对恒定的施加磁场具有更低的敏感性。应当理解对于 Savtchenko 技术，其中字和位线 20,30 参照位易磁化轴 1435 优选成 45 度取向，读取操作期间沿着电流线 20 和 30 或者两者施加电流，从而沿着易磁化轴实现磁场分量。但是，如同参照图 8-11 所述，因为需要特定的脉冲序列来触发位磁矩，所以响应施加的磁场，位磁矩不会转换至新的极性。在第一种可选择的途径中，当对于位磁矩 15 和写入操作使用 Savtchenko 技术时，字和位线 20, 30 只有一个被激励，从而产生在位易磁化轴 1435 上具有足够数值的施加磁场来实施可靠的读取操作。在第二种可选的途径中，每个 MRAM 器件 73 都可能包括与位易磁化轴 1435 正交的分离读取线(第三个电流线)，以至于仅由读取线中的电流产生的施加磁场其基本上所有的磁场都处于沿着位易磁化轴 1435 的两种极性之一。至于字线 20 和位线 30，读取线只需要接近施加磁场的参考磁区 17。

参考图 19，根据本发明的实施方案，其中(对于 MRAM 器件 74)位磁区 15 包含本文中参照图 2 描述和参照图 4-6 描述的任何一种结构，表示了包括 MRAM 器件 74 的部分 MRAM 阵列 7 的剖视图。

MRAM 器件 74 中的参考磁区 17 包含与形成隧道势垒 16 的电绝缘材料相邻的合成反铁磁性(SAF)层 83, 并且进一步包含与 SAF 三层结构 83 相邻的钉扎反铁磁性层 57。SAF 三层结构 83 包含三层: 铁磁性层 46、反铁磁性耦合层 66(也更简单地称作耦合层 66)和铁磁性层 56。这三层 46、66、56 优选包含从分别与对于参照图 4 描述的 MRAM 器件 72 各层 45、65、55 所选择的相同的材料中选择。反铁磁性钉扎层 57 包含例如铁-锰、铌锰, 或铂-锰合金的反铁磁性材料。MRAM 器件 74 的读取操作与 MRAM 器件 73 的读取操作相同。再次参照图 15-18, 表示了位磁区 15 具有优选在从 1.5 至 3.0 范围内, 但可以是大于 1 的任何值的长径比, 并且相应于参照图 2 描述的 MRAM 器件 71 的传统位磁区 15, 或者参照图 4-6 描述的 MRAM 器件 72 的 Savtchenko 位磁区 15, 而且产生表现出两个位磁矩稳定值的位易磁化轴 1435。应当理解有其它的方式来实现产生位易磁化轴 1435 的各向异性。当位易磁化轴 1435 上施加磁场的分量 1410 具有零值时, 参考磁区 17 具有接近于 1 的低长径比(如上所述)来降低形状各向异性至接近零, 并且具有基本上与位易磁化轴 1435 正交的参考磁矩 1430。

设计并且结合参考磁矩 1430 的转动反应强度来实现读取操作的施加磁场, 以至于当使用施加磁场的读出值时, 位磁矩的状态(极性)可靠地由 MRAM 器件 73 从参考磁电阻 1510 的磁电阻变化信号来指示, 所述读出值在位磁区 15(例如参照图 3 描述的磁场区 320 和参照图 6 描述的磁区 92)的特定实施方案相关的非转换磁场区之内。在 MRAM 器件 74 的本实施方案中, 对反铁磁性钉扎层 57, 设计并实现材料和工艺实现步骤, 从而制造具有强钉扎强度的层-即层 57 是强钉扎层。通过选择 SAF 三层结构 83 的材料和制造工艺参数, 参考磁矩 1430 的转动反应强度被降低至传统的“固定”参考磁矩的转动强度以下。这些选择可能包括设计并实现弱反铁磁性耦合层 66 或铁磁性层 46、56 的磁矩不平衡, 或者两个特征的一定组合, 以至于层 46 的磁矩(参考磁矩 1430)响应于施加的磁场(传感)而旋转, 而层 56 的磁矩保持不变。因此, 如同先有技术的 MRAMs 所做的一样, 已经描述了一

种可靠的发明，其避免了与使用外部参考来确定存储的位磁矩状态相关的事件。出于对 MRAM 器件 73 描述的原因，如同参考图 4-13 所述，对于位磁区 15，使用 Savtchenko 技术优选地具体体现了 MRAM 器件 74。因此，如同在 MRAM 器件 73 中一样，可以使用字和位线 20,30 之一或两者来产生用于读取存储的位磁矩的施加磁场，或者可以为此添加第三根线，取决于位磁区 15 和写入操作的技术。

参照图 20-22，图 20 表示了 MRAM 器件 75 的平面图，并且图 21 和 22 表示施加磁场的值对磁电阻隧道结器件 75 电阻的图。在 MRAM 器件 75 中，根据本发明的实施方案，位磁区 15 包含在本文中参照图 2 和参照图 4-6 描述的任何一种结构。MRAM 器件 75 的参考磁区 17 具有与图 19 中对 MRAM 器件 74 的参考磁区 17 表示的相同垂直层结构，并且按照 MRAM 器件 74 的最初方案来设计并实现层 46、66、56、57。位磁区 15 具有位易磁化轴 1435。MRAM 器件 75 与 MRAM 器件 74 不同，因为参考磁区 17 具有基本上大于 1 的长径比，其长轴 1930 与位易磁化轴 1435 平行。同 MRAM 器件 74 的 SAF 三层结构一样，MRAM 器件 75 的 SAF 三层结构 83 在基本上与位易磁化轴 1435 正交的铁磁性层 56(称作受钉扎层 56)中具有受钉扎磁矩 1910。但是，参考磁矩(隧道势垒 16 相邻的铁磁性层 46 中)通过参考磁区 17 的各向异性在两个方向之一上倾斜，以至于与隧道势垒 16 相邻的参考磁矩具有两个稳定的位置 1920、1925。稳定位置(或状态)1920、1925 与位易磁化轴 1435 的正交线成大致相等的角度。参考磁区 17 表示在图 20 中，其具有比位磁区 15 更小的长径比，但并非需要如此。可以使用磁区 15 和 17 之间的各种形状差异，包括相同的形状或不同的形状。通过参考磁矩的转动反应强度(如同参照图 14-18 所述)和与位易磁化轴 1435 平行的方向上铁磁性层 46 的各向异性来确定参考磁矩从位易磁化轴 1435 正交方向旋转的角度。所述各向异性可以是图 20 中举例说明的形状各向异性，但是可以可选地通过称作磁感应各向异性的(磁性层 46)材料性质来产生，该性质当然是 MRAM 75 设计期间确定的特性。因此，所述形状可以具有任何长径比，包括 1。

应当理解当位易磁化轴 1435 中的参考磁矩分量方向与磁区 15 中隧道势垒 16 相邻的位磁矩的极性相反时, MRAM 器件 75 的磁电阻将高于位易磁化轴 1435 中的参考磁矩分量方向与磁区 15 中隧道势垒 16 相邻的位磁矩的极性相同时的情况。尽管参考磁矩有两个稳定的位置 1920、1925, 但是它们容易受到外部或热的影响, 并且从一个状态改变至另一个状态。因此, 尽管通过读取磁电阻的绝对读数, 施加磁场的的一个读出值的应用在某些情况下可以用来确定位磁矩的极性, 但是读取位磁区 15 极性的更优选方法是使用至少在第一种极性下, 然后在第二种极性下具有读出值的施加磁场。在该方法中, 设置施加磁场处于其在与位磁区 15(例如参照图 3 描述的磁场区 320 和参照图 6 描述的磁区 92)的特定实施方案相关的非转换磁场区之内的读出值, 但足够强至在位置 1920 和 1925 之间改变参考磁矩的位置。该方法通过确定 MTJD 磁电阻的变化信号提供了位磁矩极性的可靠指示。举例来说, 当磁区 15 的隧道势垒 16 相邻的位磁矩具有图 20 中所示的极性 1950 并且施加通过字和位线 20, 30(图 19)中的电流或多个电流产生的磁场, 其在位易磁化轴 1435 上具有相反极性的分量(如图 21 和 22 中  $H_+$  所示)时, 如果参考磁矩处于位置 1920(图 20), 磁电阻将从图 21 中点 2005 处的磁电阻移动到点 2010 处的磁电阻, 但是如果参考磁矩已经处于位置 1925(图 20), 其不会从图中的点 2015 处的磁电阻显著改变。当然后施加在位易磁化轴 1435 上与极性 1950 具有相同极性的分量(如图 21 和 22 中  $H_-$  所示)的磁场时, 如果参考磁矩已经处于位置 1925(图 20), 磁电阻将从图 21 中点 2010 处的磁电阻(介于  $R_{MID}$  和  $R_{HI}$  之间)移动到图中点 2020 处的磁电阻(介于  $R_{MID}$  和  $R_{RO}$  之间)。在此实施方案中, 当位磁矩具有与图 20 中所示极性 1950 相反的极性并且施加相同序列的磁场时, 不管在读取操作开始之前参考磁矩的状态如何, 磁电阻将点 2020 处的低值(介于  $R_{MID}$  和  $R_{LO}$  之间)改变到点 2010 处的高值(介于  $R_{MID}$  和  $R_{HI}$  之间), 如图 22 所示。从这些图(图 21 和 22)中可以看出位磁矩 1950 极性可以从 MRAM 器件 75 磁电阻变化的极性来确定。因此, 如同在 MRAM 器件 73, 74 中一样, 可以使用字和位线 20, 30 之

一或两者来产生用于读取存储的位磁矩的施加磁场，或者可以为此添加第三根线，取决于位磁区 15 和写入操作的技术。

参照图 23，根据本发明的实施方案，其中位磁区 15 包含在本文中参照图 2 和参照图 4-6 描述的任何一种结构，表示了包括 MRAM 器件 76 的部分 MRAM 阵列 8 的剖视图。此外，MRAM 器件 76 中的参考磁区 17 是与形成隧道势垒 16 的电绝缘材料相邻的未受钉扎铁磁性层 85。铁磁性层 85 包括至少元素 Ni、Fe、Co 或者它们的组合之一，并且通过工艺实现具有大约为 1(并且优选小于 1.3)的长径比以及能够产生磁化涡流 2310 的厚度 84 的形状，如图 24 中参考磁区 17 的平面图所示。因此，当不施加磁场时，参考磁区 17 的涡流中心 2320 在参考磁区 17 的中央并且净磁矩为零；而且 MRAM 器件 76 具有在本文中定义为参考磁电阻的磁电阻。沿着位磁区 15 易磁化轴的位磁矩 2315 也表示在图 24 中。在 MRAM 器件 76 的读取操作期间，施加在位易磁化轴中的磁场引起涡流中心 2320 移动到与位易磁化轴正交的方向，如图 25 所示，然后在参考磁区 17 中存在净磁矩。当施加磁场与位易磁化轴具有一定角度时，涡流中心在与净施加磁场方向成 90 度的方向上移动。但是，结果仍是相似的。举例来说，当通过与位易磁化轴成 45 度取向的字或位线 20,30 产生磁场时，典型地在使用字或位线 20, 30 之一进行读取操作并且使用 Savtchenko 技术读取位磁区 15 时，涡流中心在施加磁场的方向上移动并且在或者与存储的位磁矩相反或相同的位易磁化轴上存在分量。只要施加磁场在涡流区内并且位于与位磁区 15 技术相关的非转换磁场区之内，MRAM 器件 76 的磁电阻从参考磁电阻的变化信号可靠地指示了位磁矩 2315 的极性，并且位磁矩 2315 没有转换。涡流区是施加磁场值的某个区域，在该区域内涡流中心的移动是可逆的而没有滞后，并且与施加磁场的分量成线性。

上述实施方案的更一般性描述是参考磁区 17 的参考磁矩及其磁状态可以通过施加的磁场来改变，其值在与位磁区 15 的技术相关的非转换磁场区内。随着参考磁矩以预定的方式改变，这允许由电阻行为来确定自由层的取向。使用该技术允许每个位参考其自身。这就回避



了对高、低和中点位之间小的电阻变化的需要。由于参考层状态中预定的磁变化(即自参考),所有位的状态可以通过电阻变化来确定,而不需要与外部的位比较,这就是当前的操作模式。

换句话说,本发明可以一般性描述为磁电阻隧道结存储单元,其包含设计成形成磁电阻隧道势垒的电绝缘材料、位于电绝缘材料一面上的位磁区、位于电绝缘材料相反面上的参考磁区,以及金属导体或其它运输电流用来在位和参考磁区内感应施加磁场的装置。位磁区具有在不施加磁场时极性在位易磁化轴上的位磁矩;电绝缘材料以及位和参考磁区形成磁电阻隧道结器件 MTJD。参考磁区具有参考磁矩,其至少具有相应于施加磁场第一和第二值的第一和第二值。(注意在一些实施方案中,施加磁场的的一个值为零。)位磁矩的极性通过在施加磁场的的第一和第二值下测量 MTJD 的磁电阻来可靠地确定。施加磁场的的第一和第二值在位磁矩的状态没有转换的非转换磁场区内。

应当理解分别包含本文描述的 MRAM 器件 71、72、73、74、75、75、76 (也称为磁电阻隧道结器件)的 RMAM 阵列 3、4、5、6、7、8 可以有利地在广泛的电光集成电路中使用,例如使用几乎任何类型微处理机或信号处理机的任何电路,以及需要状态定义的电路。结果,MRAM 器件 71-76 可以有利地在虚拟的任何使用存储器的电光设备中使用。尽管本发明的一个特征是 RMAM 器件 71-76 的非易失性,但应当理解这些器件的尺寸和速度将不会防止它们在迄今不需要非易失性存储器的情况中使用。

在前面的说明中,已经参考具体的实施方案说明了本发明及其利益。但是,本领域的一般技术人员领会到可以做出各种修改和改变而不会背离如下面权利要求提出的本发明的范围。因此,说明书和图表被认为是举例说明而不是限制性的,并且所有这种修改都打算包括在本发明的范围内。利益、优点、问题的解决,以及任何可以引起任何利益、优点或解决方案发生或变得更加明显的元件并没有构思为任何或所有权利要求的关键、必需或必要的特征或元件。

如本文所用,术语“包含”、“含有”或任何其它的变化都打算涵盖

非唯一的包涵，以至于包含一系列元件的过程、方法、物品或设备都不只包括那些元件，而是可以包括未清楚列出的或所述过程、方法、物品或设备内在的其它元件。

已经以如此清晰和精确的术语全面地描述了本发明，使本领域技术人员可以理解并实践同样的内容。本发明的权利要求如下。

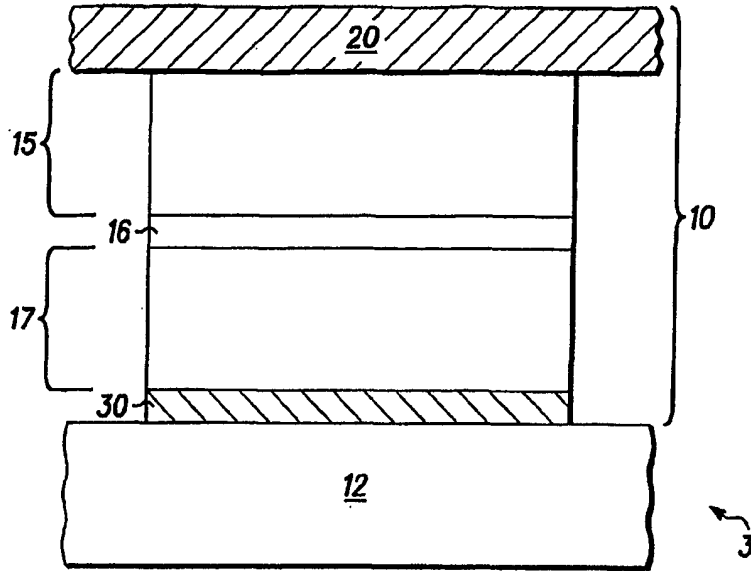


图 1

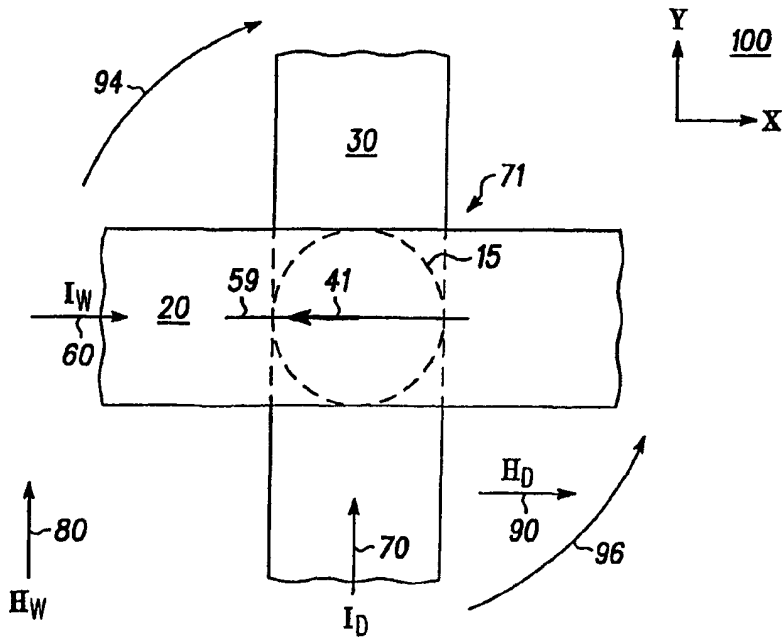


图 2

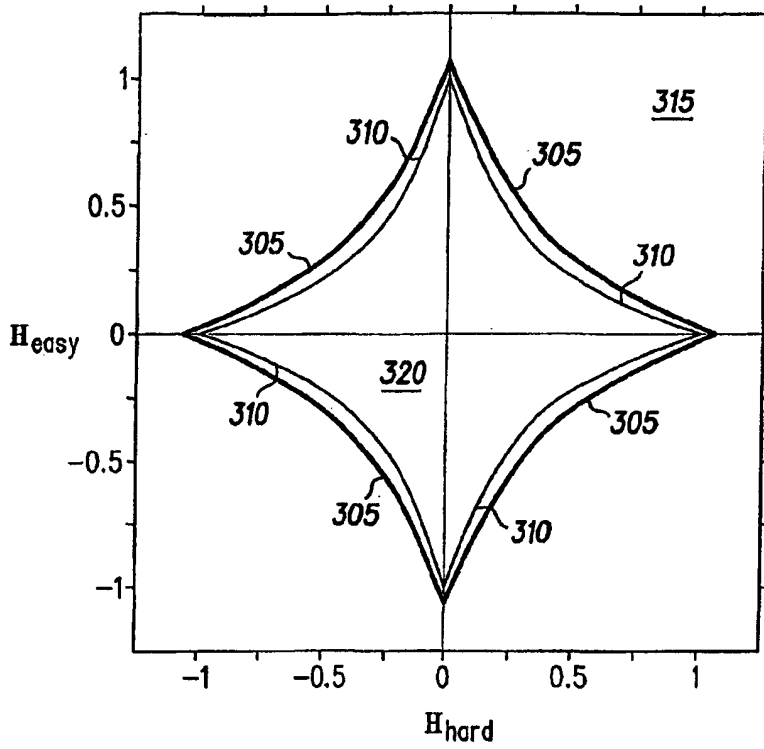


图 3

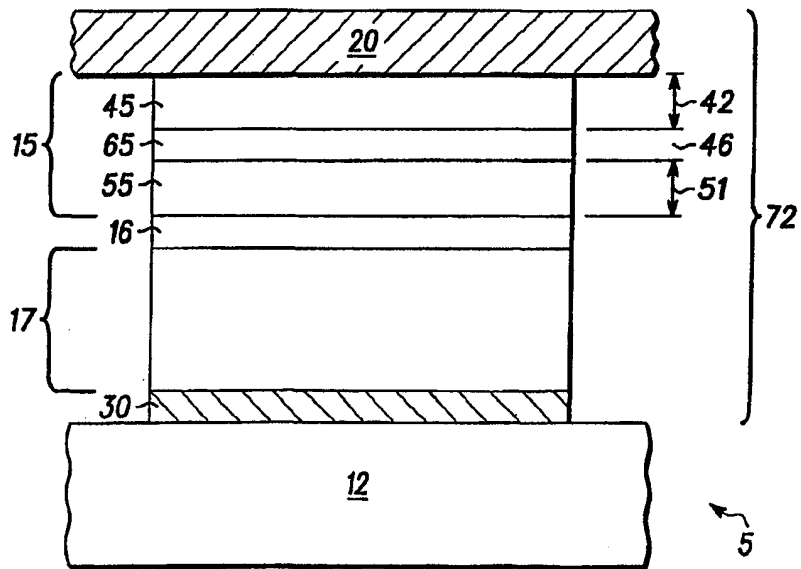


图 4

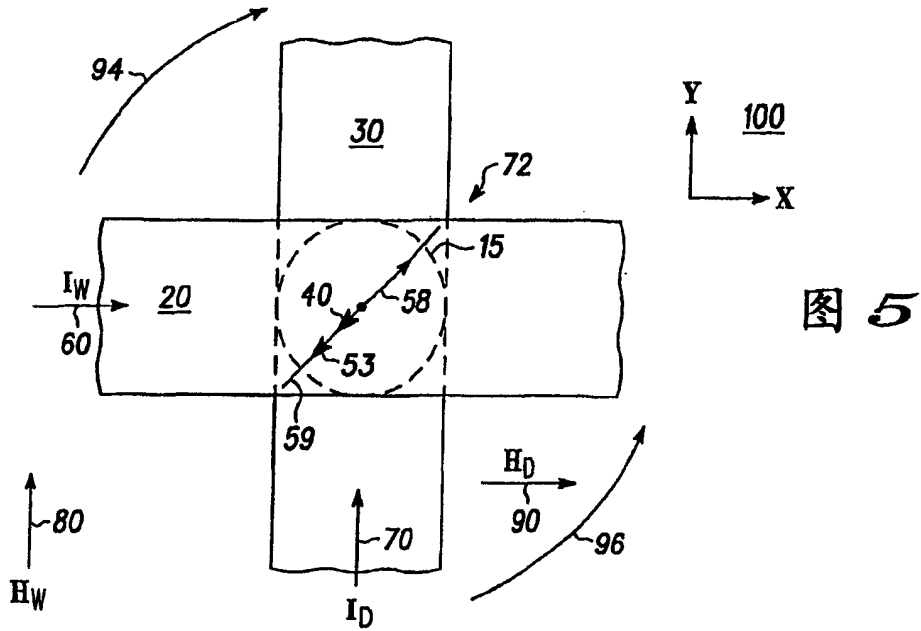


图 5

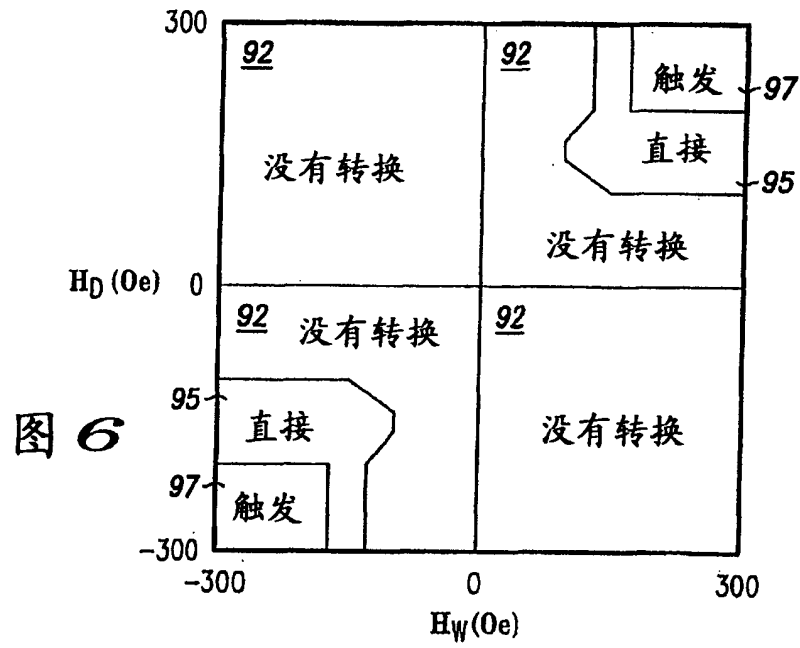


图 6

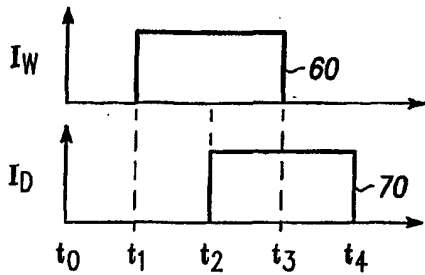


图 7

600

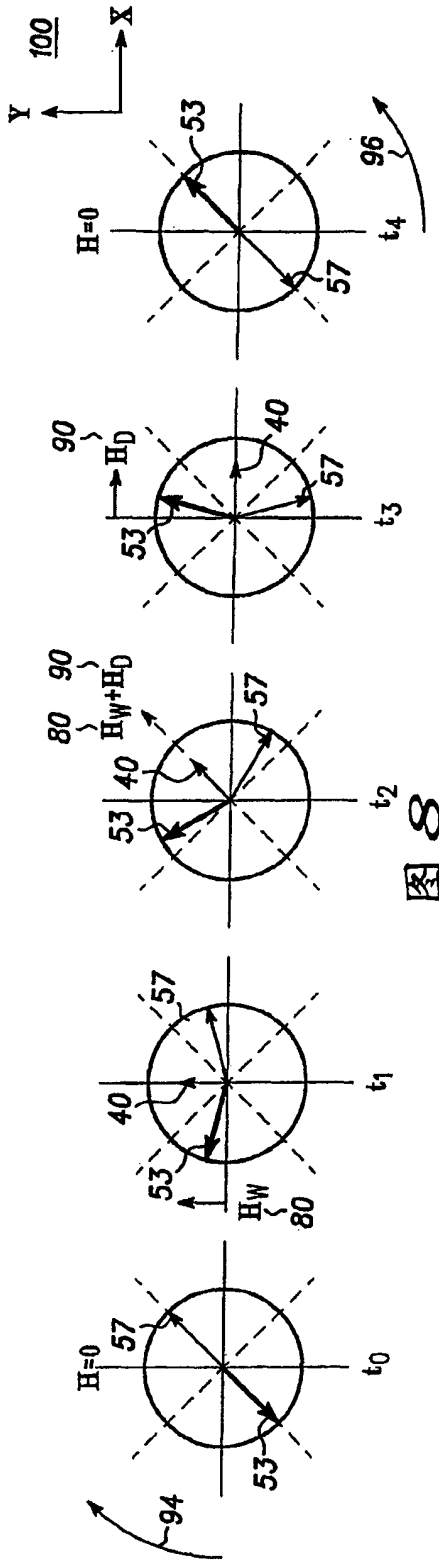


图 8

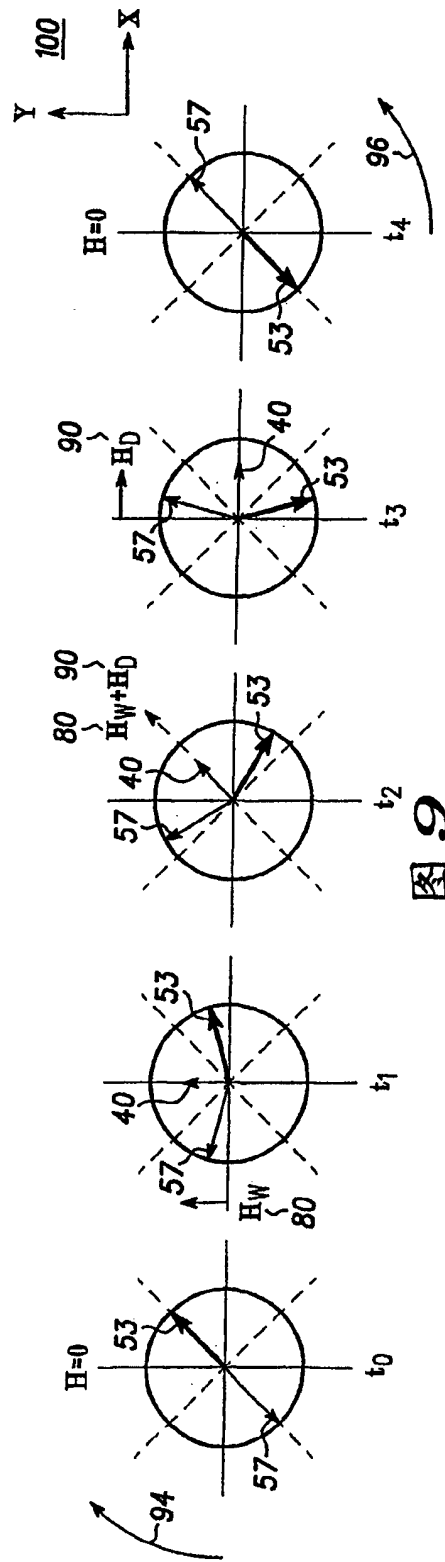


图 9

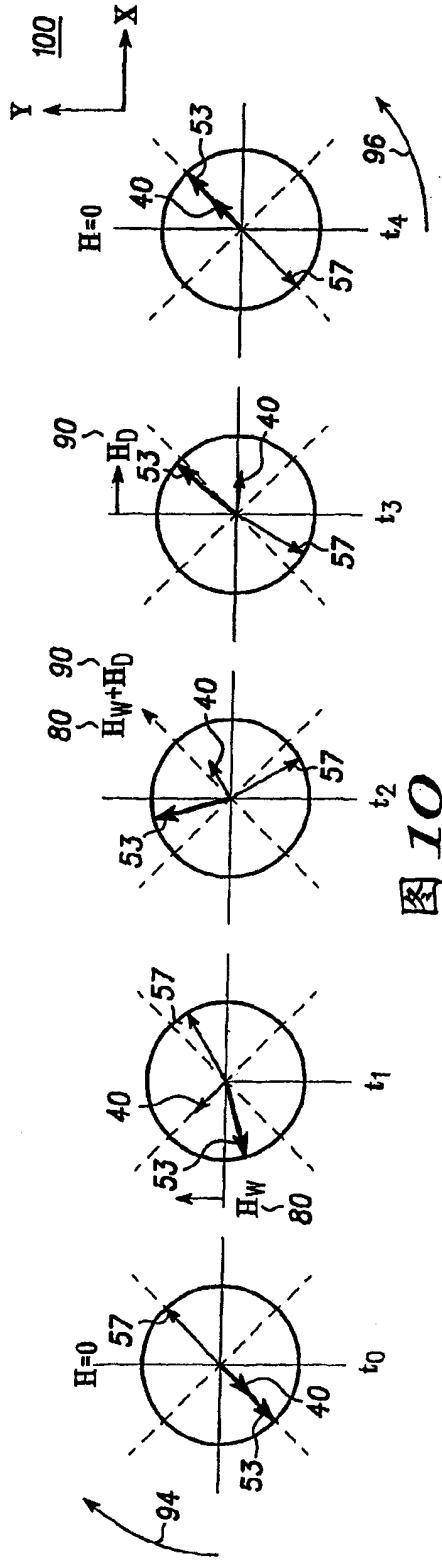


图 10

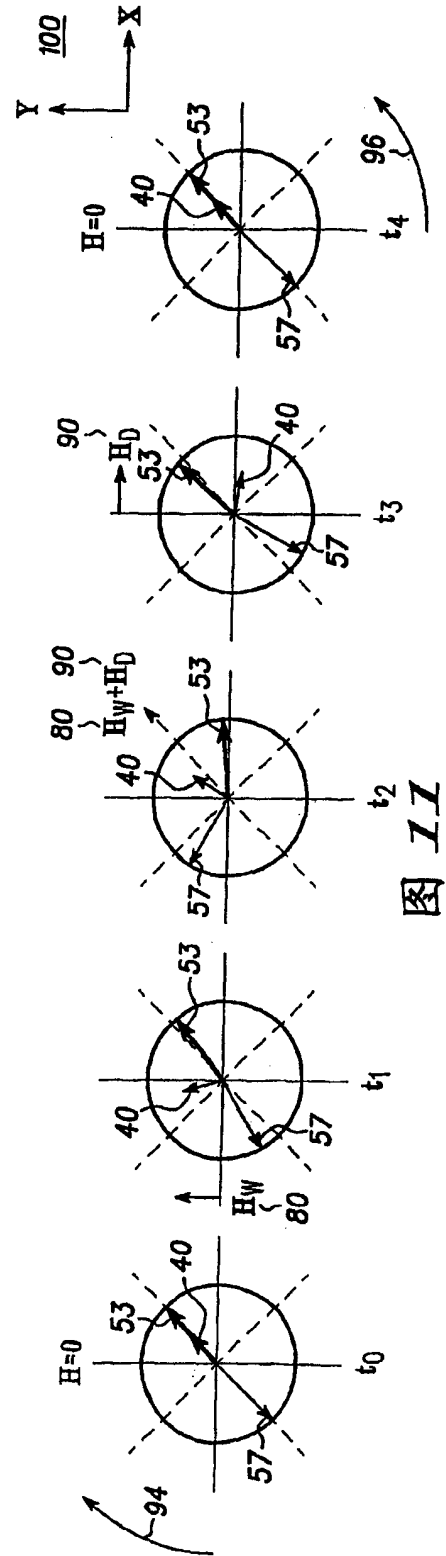


图 11

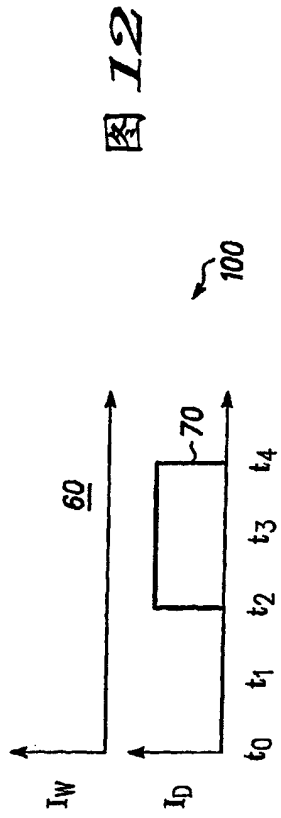


图 12

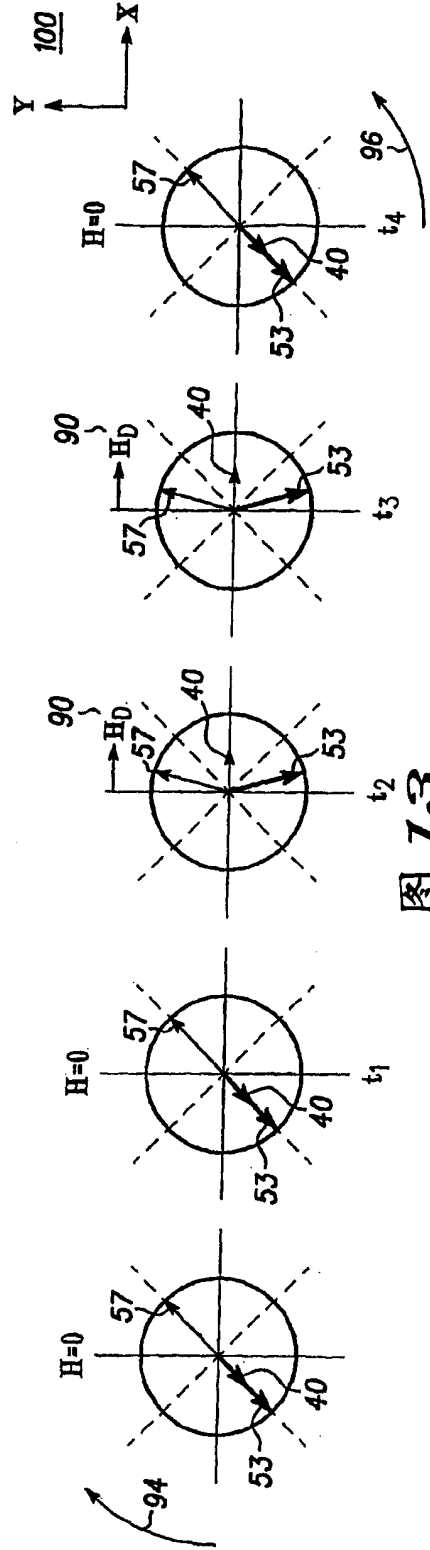


图 13



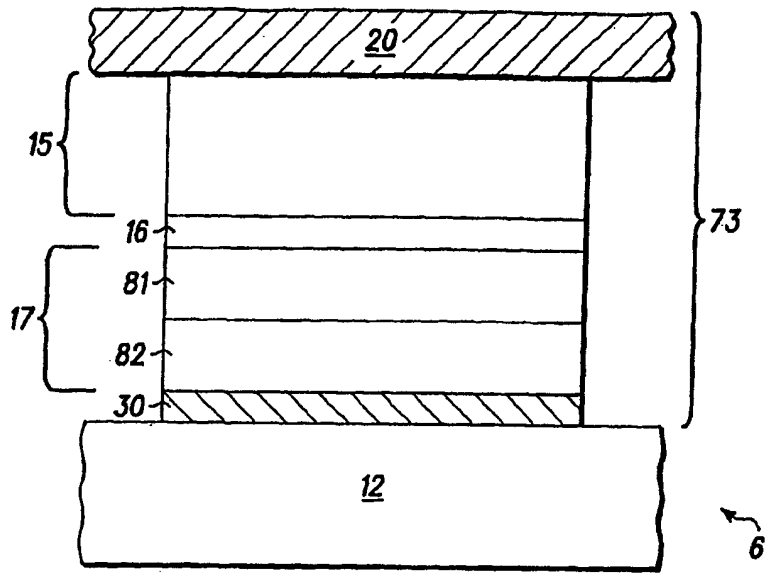


图 14

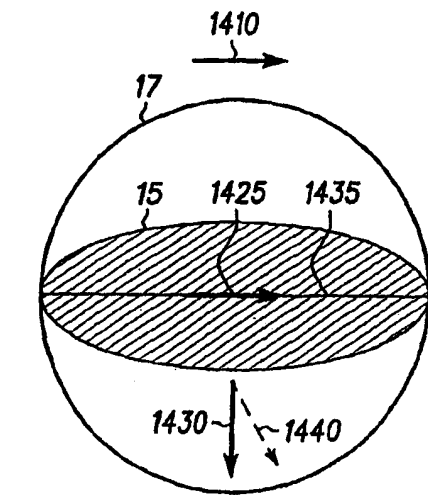


图 15

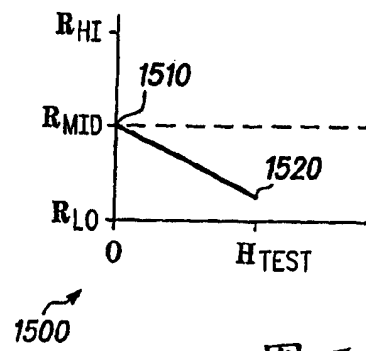


图 16

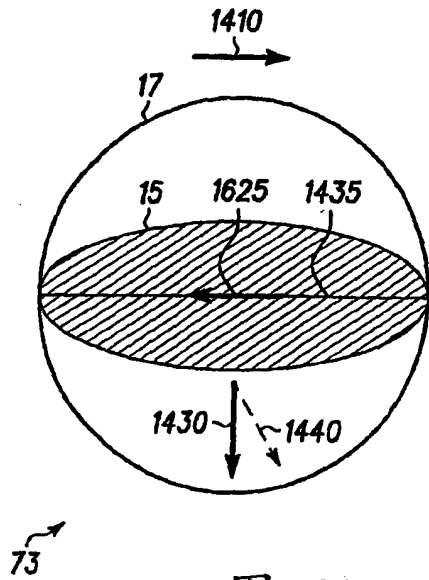


图 17

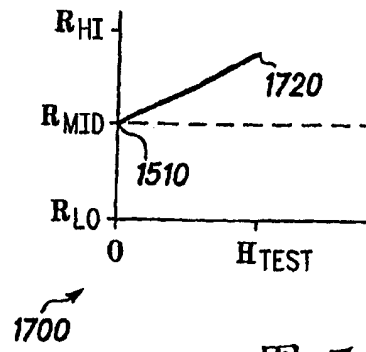


图 18

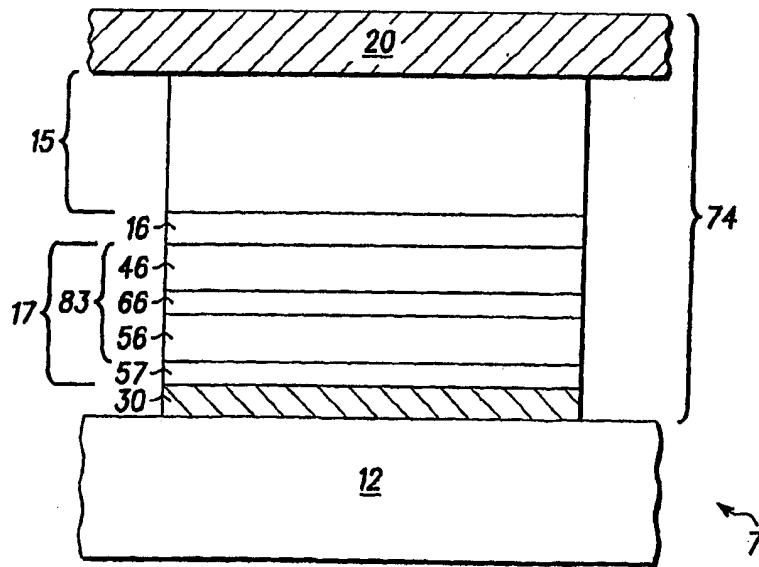


图 19

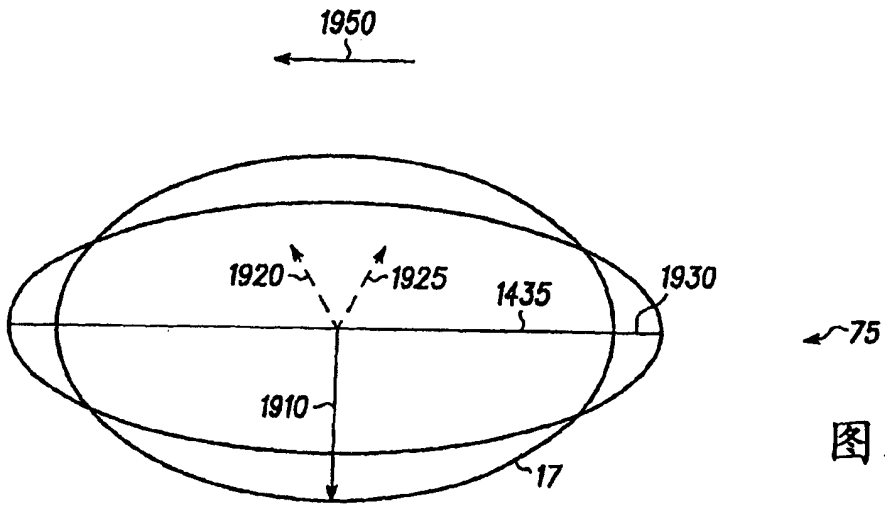


图 20

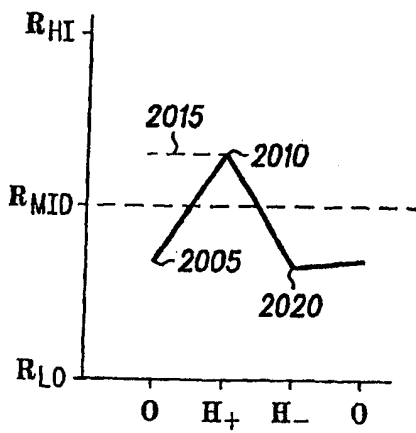


图 21

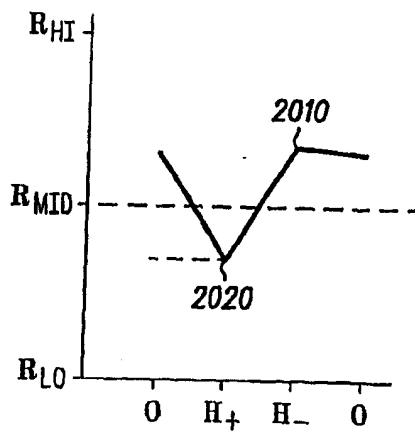


图 22

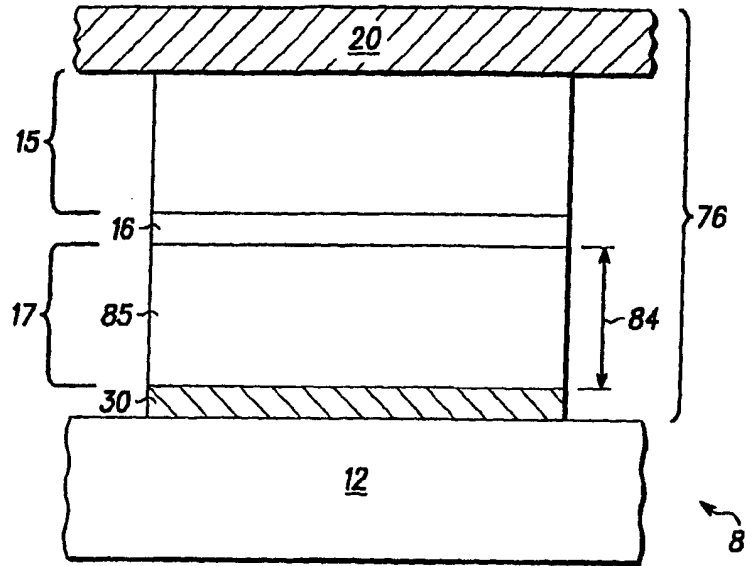


图 23

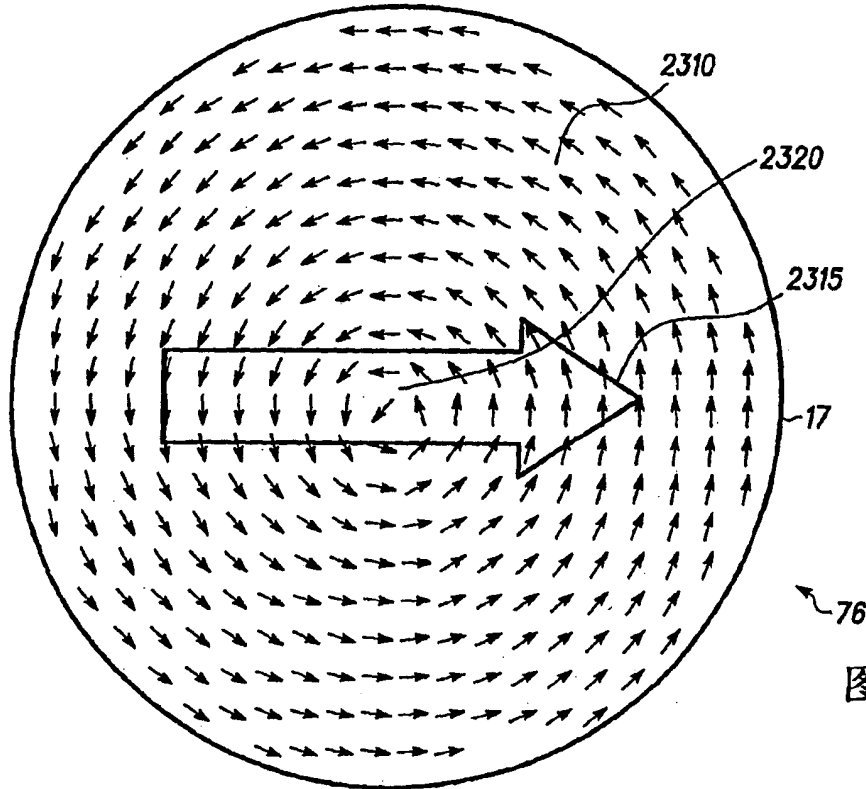


图 24

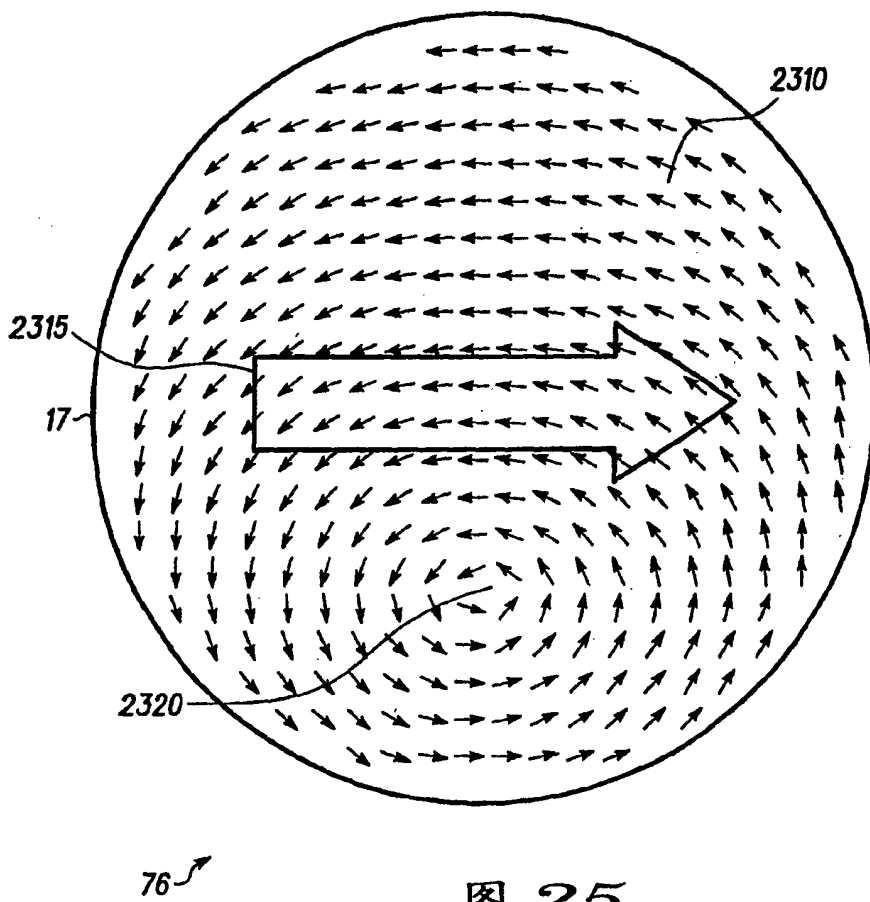


图 25