

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G11C 11/15

H01L 43/08



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02128645.0

[43] 公开日 2003 年 3 月 26 日

[11] 公开号 CN 1405777A

[22] 申请日 2002.8.9 [21] 申请号 02128645.0

[30] 优先权

[32] 2001. 8. 9 [33] US [31] 09/925755

[71] 申请人 惠普公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 J·H·尼科尔 M·布哈塔查尔亚

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

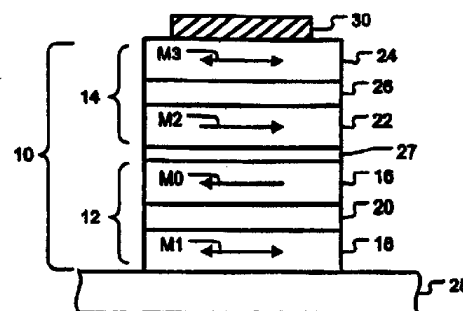
代理人 栾本生 梁 永

权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 7 页

[54] 发明名称 多位磁存储单元

[57] 摘要

一种磁存储单元(10)包括串连的第一和第二磁阻器件(12, 14)。第一和第二磁阻器件(12, 14)具有不同的矫顽磁力(L1, L2)的第一和第二传感层(18, 14)。磁随机存取存储器(MRAM)器件(812)可以包括这些存储单元(10)的阵列。



ISSN 1008-4274

1. 一种磁存储单元(10)，包含串连的第一和第二磁阻器件(12, 14)，第一磁阻器件(12)具有第一传感层(18)，第二磁阻器件(14)具有第二传感层(24)，第一和第二传感层(18, 24)有不同的矫顽磁力。

5 2. 如权利要求1的存储单元，其中，第一和第二器件(12, 14)是磁隧道结。

3. 如权利要求2的存储单元，其中，第一磁隧道结(12)包括第一传感层(18)和第一固定层(16)；并且第二磁隧道结(14)包括第二传感层(24)和第二固定层(22)。

10 4. 如权利要求2的存储单元，其中，第一和第二器件(712, 714)的传感层(718, 724)是背对背的；并且其中传感层(718, 724)被一个非磁材料层(713)隔离。

5. 如权利要求2的存储单元，其中，第一和第二磁隧道结(612, 614)共用一个固定层(616)。

15 6. 如权利要求1的存储单元，其中，第一和第二器件中的传感层(412/414, 512/514)有不同的形状。

7. 如权利要求1的存储单元，其中，第一和第二器件中的传感层(212/214, 312/314, 412/414)有不同的尺寸。

20 8. 如权利要求1的存储单元，其中，第一和第二器件(112, 114)中的传感层(118, 124)有不同的厚度。

9. 如权利要求1的存储单元，其中，第一和第二器件(12, 14)中的传感层(18, 24)由不同的材料制成。

25 10. 如权利要求1的存储单元，其中，第一和第二器件(12, 14)有可区分的不同 Δ 电阻，从而使存储单元(10)至少有四个可区分的状态。

多位磁存储单元

技术领域

5 本发明涉及信息存储器件。更具体来说，本发明涉及磁存储器件。

背景技术

磁随机存取存储器（“MRAM”）是一种非易失性存储器，被用于短期或长期的数据存储。MRAM 比诸如 DRAM、SRAM 和闪存之类的短期存储器的耗电量低。MRAM 能比诸如硬驱的常规长期存储器件以快得多（按若干数量级）的速度执行读写操作。此外，MRAM 器件比硬驱更紧凑、耗电更少。MRAM 也正在被考虑用于内置式应用，如极快的处理器和网络电子设备。

典型的 MRAM 器件包括一个存储单元阵列，字线沿着各行存储单元延伸，位线沿着各列存储单元延伸。每个存储单元位于一个字线和一个位线的交叉点上，通常包括一个有两种逻辑状态（‘0’和‘1’）的磁存储器件（例如一个磁隧道结）。

增加 MRAM 存储密度是一个持续的目标。增加存储密度就是增加单位面积所能存储的信息量。

发明内容

20 按照本发明的一个方面，一种磁存储单元包括串连的第一和第二磁阻器件。第一和第二器件有具有不同矫顽磁力(coercivities)的第一和第二层。本发明的其它特点和优点将在以下详细说明中明了，以下说明结合各附图，通过举例阐释本发明的原理。

附图说明

25 图 1 是按照本发明的多位存储单元的示意图。

图 2 是多位存储单元的磁滞回线的示意图。

图 3 是一个示例性的传感层的示意图。

图 4-10 是按照本发明的其它多位存储单元的示意图。

图 11 是包括一个多位存储单元阵列的 MRAM 器件的示意图。

30 图 12 和 13 是制造图 11 的器件的不同方法的示意图。

具体实施方式

如各示意图中所示，本发明具体体现为一个包括串连的第一和第

二磁阻器件的存储单元。第一和第二磁阻器件有具有不同矫顽磁力的传感层，因此有不同的写点。所以可以选择性地在第一和第二磁阻器件上执行写操作。这样的存储单元有四个逻辑状态；它比只有两个逻辑状态的常规的单一位的存储单元能存储更多的数据。以下各段

5 落描述不同类型的磁阻器件以及不同的产生不同矫顽磁力的方法。

图 1 表示的示例性多位存储单元 10 包括串联的磁隧道结 12 和 14。第一磁隧道结 12 包括一个第一固定层(pinned layer)16、一个铁磁(FM)层 18、以及一个位于第一固定层 16 和传感层 18 之间的绝缘隧道势垒 20。第一固定层 16 有一个朝向第一固定层 16 的平面的磁化

10 向量 M_0 。第一固定层 16 的磁化向量 M_0 被保持在一个方向上，即使存在一个在第一有意义的范围内(in a first range of interest)的应用磁场。第一固定层 16 例如可以是一个单层硬磁体，一个多层交换磁体(exchange magnet)，或者一个合成反铁磁体(synthetic antiferromagnet)。

15 第一传感层 18 有一个磁化向量 M_1 ，它是不固定的。相反，第一传感层磁化向量 M_1 在存在一个在第一有意义的范围内的应用磁场时能朝向两个方向的任意一个方向。当传感层磁化向量 M_1 的朝向与固定层磁化向量 M_0 的在相同方向上时，第一磁隧道结 12 是平行的(parallel)，而当传感层磁化向量 M_1 的朝向与固定层磁化向量 M_0 的在相反方向上

20 时，第一磁隧道结 12 是逆平行的(anti-parallel)。

第一绝缘隧道势垒 20 在第一固定层 16 和传感层 18 之间发生量子力学隧穿(tunneling)。这个隧穿现象是与电子旋转(electron spin)有关的，它使第一磁隧道结 12 的电阻是第一固定层 16 和传感层 18 的磁化向量 M_0 和 M_1 的相对朝向的一个函数。例如，如果第一磁隧道结

25 12 的磁化朝向是平行的，则其电阻是一个第一值(R_1)，如果其磁化朝向是逆平行的，则其电阻是一个第二值($R_1 + \Delta R_1$)。

第二磁隧道结 14 包括一个第二固定层 22、一个第二传感 FM 层 24、以及一个位于第二固定层 22 和传感层 24 之间的第二绝缘隧道势垒 26。第二固定层 22 有一个朝向第二固定层 22 的平面的磁化向量

30 M_2 。第二固定层 22 的磁化向量 M_2 被保持在一个方向上，即使存在一个在第一有意义的范围内的应用磁场。第二固定层 22 例如可以是一个单层硬磁体，一个多层交换磁体，或者一个合成的反铁磁体。

第二传感层 24 有一个磁化向量 M_3 , 在存在一个在第二有意义的范围内的应用磁场时能朝向两个方向的任意一个方向。如果第二磁隧道结 14 的磁化朝向是平行的, 则其电阻是一个第三值 (R_2), 如果其磁化朝向是逆平行的, 则其电阻是一个第四值 ($R_2 + \Delta R_2$)。

5 非磁性导电隔离层 27 位于第一和第二结 12 和 14 之间。隔离层 27 的厚度能阻止第一和第二结 12 和 14 之间的磁耦合, 而隔离层 27 却让第一和第二结 12 和 14 之间电连接。制作隔离层 27 的材料可以是铜、钽、金或钨。钽隔离层 27 也可以为由诸如 IrMn 的复合物制成的第二固定层起着一个籽晶层 (seed layer) 的作用。

10 第一和第二磁隧道结 12 和 14 的传感层 18 和 24 有不同的矫顽磁力。图 2 中显示了第一和第二磁隧道结 12 和 14 的示例性磁滞回线 L_1 和 L_2 。如图 2 中所示, 第一磁隧道结 12 比第二磁隧道结 14 有更大的矫顽磁力 (即 $H_{c1} > H_{c2}$)。因此, 第一有意义的范围大于第二有意义的范围, 并且要改变第一传感层磁化向量 M_1 的朝向所需的磁场比改变
15 第一传感层磁化向量 M_3 的朝向的磁场更大。第一和第二磁隧道结 12 和 14 并不仅限于嵌套的 (nested) 磁滞回线 L_1 和 L_2 , 也不仅仅限于第一磁滞回线 L_1 比第二磁滞回线 L_2 有更大的矫顽磁力。此外, 磁阻器件 12 和 14 应当有允许能区分四个逻辑状态的电阻, 如下文将要解释的那样。

20 多位存储单元 10 位于第一和第二导体 28 和 30 之间。写电流被提供到第一和第二导体 28 和 30 以产生磁场。这些磁场被用来向磁隧道结 12 和 14 写。就是说, 这些磁场被用来设定传感层磁化向量 M_1 和 M_3 的朝向。写电流的大小决定了磁场强度, 写电流的方向决定了传感层磁化向量被转向的方向。

25 通过向第一和第二导体 28 和 30 提供适当大小和方向的写电流, 就可以将一个逻辑值写到第一磁隧道结 12 上。所生成的在第一有意义的范围内的磁场将第一传感层磁化向量 M_1 设定到所需的方向。由于第一磁隧道结 12 比第二磁隧道结 14 有更高的矫顽磁力, 所生成的磁场也将第二传感层磁化向量 M_3 设定到与第一传感层磁化向量 M_1 相同的
30 方向。

通过向第一和第二导体 28 和 30 提供适当大小和方向的写电流, 可将一个逻辑值只写到第二磁隧道结 14 上。所生成的在第二有意义的

范围内的磁场将第二传感层磁化向量 M_3 设定到所需的方向。由于第二磁隧道结 14 比第一磁隧道结 12 有更低的矫顽磁力，所生成的磁场不改变第一传感层磁化向量 M_1 的方向。

- 5 通过跨存储单元 10 施加一个电压并确定流经存储单元 10 的感应电流的大小，就可以读取存储单元 10 的逻辑状态。感应电流的大小与串联的结 12 和 14 的总电阻成比例。下表提供的一个例子是对应传感层磁化向量 M_1 和 M_3 的不同朝向(对应 $M_0 = \rightarrow$ 和 $M_2 = \leftarrow$)的电阻状态。

M_1	M_3	结电阻
$\rightarrow$	$\rightarrow$	$R_1 + R_2 + \Delta R_2$
$\rightarrow$	$\leftarrow$	$R_1 + R_2$
$\leftarrow$	$\rightarrow$	$R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2$
$\leftarrow$	$\leftarrow$	$R_1 + \Delta R_1 + R_2$

- 10 如果第一和第二磁隧道结 12 和 14 有相同的 Δ 电阻 (即 $\Delta R_1 = \Delta R_2$)，则电阻状态 $R_1 + R_2 + \Delta R_2$ 就不能区别于电阻状态 $R_1 + R_2 + \Delta R_2$ 。如果 Δ 电阻的差别是可以区分的，则存储单元 10 有四个可区分的逻辑状态。要使各 Δ 电阻不同，例如可以将第一和第二绝缘隧道势垒 20 和 28 作成不同的厚度，或者把第一和第二传感层 18 和 24 用具有不同极性的不同材料制成。

- 15 有许多不同的方法来制造有不同矫顽磁力的第一和第二传感层 18 和 24。例如，第一和第二传感层 18 和 24 可以有不同的形状或尺寸，它们可以有不同的厚度，或者它们可以用不同的材料制成。

- 20 图 1 中表示一个有由不同材料制成的第一和第二传感层的多位存储单元 10。典型的传感层材料包括 - 但不仅仅限于 - NiFe、NiFeCo 和 CoFe。如果第一传感层 18 由 NiFeCo 或 CoFe 制成而第二传感层 24 由 NiFe 制成，则第一传感层 18 比第二传感层 24 有更高的矫顽磁力。总之，增加钴的百分比将增加矫顽磁力。

图 3 表示一个矩形传感层。该传感层的高度由字母 H 标记，宽度由字母 W 标记，厚度由字母 T 标记。总之，增加高度或者减少宽度 (W) 或厚度 (T) 就会导致矫顽磁力的降低。

- 25 图 4 中所示的是一个包括有不同厚度的第一和第二传感层 118 和 124。第一传感层 118 的厚度记为 T_1 ，第二传感层 124 的厚度记为 T_2 。如果 $T_1 > T_2$ 并且传感层 118 和 124 其它相同，则第一磁隧道结 112 的

传感层 118 比第一磁隧道结 114 的传感层 124 有更高的矫顽磁力。

图 5 表示有相同形状和尺寸的第一和第二磁隧道结 212 和 214。图 6 也显示有相同形状和尺寸的第一和第二磁隧道结 312 和 314。图 7 表示有不同形状和尺寸的第一和第二磁隧道结 412 和 414。图 8 表示有不同形状和尺寸的第一和第二磁隧道结 512 和 514。不同尺寸可包括不同长度和宽度。

磁结 (magnetic junctions) 并不仅限于矩形和椭圆形。例如, 磁隧道结可以有正方形、或者复杂形状, 诸如菱形、平行四边形、或任何对称或非对称多边形。

多位存储单元并不仅限于每个结有不同的形状或尺寸。例如, 第二磁隧道结的固定层和绝缘隧道势垒可以与位于下面的第一磁隧道结有相同的形状和尺寸, 但只是第二磁隧道结的传感 FM 层有一个不同的形状和尺寸。

一般来说, 第二 (上面的) 磁隧道具有更小的形状和尺寸。这是出于制造的考虑, 这将在下文讨论。

可以使第一和第二磁隧道结的传感层的矫顽磁力因不同厚度、不同形状、不同尺寸和不同材料的任意组合而不同。这些差别的大小制约对写磁场大小的控制能力。

图 9 表示一个包括共用一个固定层 616 的第一和第二磁隧道结 612 和 614。固定层 616 可以是个硬磁体。这样, 第一磁隧道结 612 包括一个第一传感层 618、一个第一绝缘隧道势垒 620 和共用固定层 616; 第二磁隧道结 612 包括一个第二传感层 624、一个第二绝缘隧道势垒 626 和共用固定层 616。可以通过使第一和第二传感层 618 和 620 的厚度、尺寸、形状和材料或它们的任意组合不同而使第一和第二磁隧道结 612 和 614 的矫顽磁力不同。

固定层并不仅限于任何特定设计。固定层可以是硬磁体。然而更常见的是, 每个固定层将包括一堆栈的元件 (a stack of elements)。例如, 该堆栈可以包括一个或多个籽晶层、一个反铁磁 (AF) 固定层和一个固定 FM 层。籽晶层或若干籽晶层为 AF 固定层确定一个 (111) 或其它更好的晶结构朝向 (crystal structure orientation), AF 固定层提供一个大交换磁场, 与此同时保持固定层磁化向量。并非总是需要籽晶层。可以用高能沉积法 (high energy deposition) 在固定层上生

成用于交换耦合(exchange coupling)的纹理(texture)。

可以让一个带有用来产生交换磁场的适当纹理的固定层生长在其对应的传感层的顶上。纹理技术被用于制造磁阻读头。

多位存储单元并不仅限于绝缘隧道势垒。例如，一个多位存储单元可以有三个磁阻器件。这样的—个存储单元有8个逻辑状态。

磁阻器件并不仅限于沉积在固定FM层上的绝缘隧道势垒以及沉积在绝缘隧道势垒上的公用FM层。次序可以不同。

图10表示一个包括有串联的第一和第二传感层718和724的第一和第二磁隧道结712和714的存储单元710。第一和第二传感层718和724被一个非磁材料(例如钉、铜、铝)层713隔离，该层713电连接两个磁阻器件712和714。层713也隔绝(decouple)两个传感层718和724的磁化。存储单元710可以有—列的示例性结构：沉积在钽715上的第一IrMn固定层716、在固定层716上的第一NiFe FM固定层719、沉积在第一固定层719上的第一 Al_2O_3 绝缘隧道势垒720、沉积在第一绝缘隧道势垒720上的第一NiFe传感层718、沉积在第一传感层718上的Ru层713、沉积在Ru层713上的第二NiFe传感层724、沉积在第二NiFe传感层724的第二 Al_2O_3 绝缘隧道势垒726、沉积在第二隧道势垒726上的第二NiFe固定层722、沉积在第二NiFe固定层722上的第二IrMn固定层728和沉积在第二固定层728上的钽帽730。

多位存储单元并不仅限于磁隧道结。也可以用其它磁阻器件，诸如巨磁阻(GMR)器件。一个基于多个GMR器件的多位存储单元可以有上述的任何设置，唯有传感和固定层是由导电的非磁性金属层隔离的，而不是由绝缘隧道势垒隔离的。传感和固定层磁化向量的相对朝向影响GMR器件的平面内(in-plane)电阻。

参看图11，MRAM器件810包括一个电阻性交叉点阵列812，由多位存储单元814组成。存储单元814排列成多行和多列，各行沿X方向延伸，各列沿Y方向延伸。为了简化对MRAM器件810的说明，图中只显示了较少数量的存储单元814。实践中可以使用任何尺寸的阵列。

起字线作用的轨迹(traces)816沿阵列812的一边上的平面中的X方向延伸，起位线作用的轨迹818沿阵列812的一个相邻边上的平面中的X方向延伸。阵列812的每行可以有一个字线816，阵列812的

每列可以有一个位线 818。每个存储单元 814 位于字线与位线的交叉点上。MRAM 器件 812 包括一个读/写电路（未予示出），用于在读操作期间检测选定存储单元的电阻状态和用于在写操作期间向选定的字线和位线提供写电流。

- 5 阵列 812 的第一和第二隧道结之间的矫顽磁力的差别将取决于它们的转换分布 (switching distributions)（即它们转换得多么一致）。越大的分布，要求阵列 812 中的第一磁隧道结的平均矫顽磁力 (H_{cAVE1}) 与阵列 812 中的第二磁隧道结的平均矫顽磁力 (H_{cAVE2}) 之间的差别越大。例如，如果第一磁隧道结的平均矫顽磁力 $H_{cAVE1} = 100e$ ，具
10 有一个 $50e$ 的分布，并且第二磁隧道结的平均矫顽磁力 $H_{cAVE2} = 200e$ ，具有一个 $50e$ 的分布，则有些存储单元将不能区分第一与第二磁隧道结。因此，第二磁隧道结要用更高的平均矫顽磁力 (H_{cAVE2})。

- 图 12 表示一个包括一个多位存储单元阵列的 MRAM 器件的制造，多位存储单元有用不同材料制成的磁阻器件。在晶片上形成字线
15 (910)，在字线上形成第一磁存储层堆栈 (stack) (912)。在第一磁存储堆栈上沉积一个非磁性导电隔离层 (914)。

在隔离层上形成第二磁存储层堆栈 (916)。第二堆栈的传感层与第一堆栈的传感层的由不同材料制成，或者厚度不同。

- 将第一和第二堆栈组合成位 (918)，用绝缘材料填充这些位间的
20 间隙 (920)。在该组合的第二堆栈上形成位线 (922)。

- 图 13 表示一个包括一个多位存储单元阵列的 MRAM 器件的制造，多位存储单元有不同尺寸和/或形状的磁阻器件。在晶片上形成字线
(1010)，在字线上形成第一磁存储层堆栈 (1012)。在第一磁存储堆栈上沉积一个隔离层 (1014)。在隔离层上形成第二磁存储层堆栈
25 (1016)。第一堆栈的各层可以有第二堆栈的各层有相同的组分。

用一个第一步骤把第一和第二堆栈定型 (pattern) 成第一尺寸和/或形状 (1018)。用一个第二步骤至少把第二堆栈的传感层再定型 (re-pattern) 成第二尺寸和/或形状 (1020)。在各位之间的间隙填充介电材料 (1022)，在定型的第二堆栈上形成位线。

- 30 存储单元并不仅限于上述的固定层。另一种类型的存储单元可包括一个合成的铁磁体固定层。这个存储单元的结构类似于图 1 中所示的结构，只不过隔离层 27 是由诸如 Ru、Re、Rh 或 Cu 的材料制成，并

且有一个允许在两个固定层 16 和 22 之间磁交换耦合的厚度。这两个固定层 16 和 22 的磁化向量之间的交换耦合非常强。

存储单元并不仅限于磁隧道结和 GMR 器件。可以使用其它类型的磁存储元件，诸如巨磁阻 (CMR) 元件。

- 5 按照本发明的 MRAM 器件可以广泛用于各种应用。例如，它们可以代替计算机中的 DRAM、SDRAM、闪存和其它快速、短时存储器。按照本发明的 MRAM 器件可以用于数字照相机，用于数字图像的长期存储。

- 10 本发明并不限于以上所示和所述的特定实施例。相反，本发明的范围应按后附的权利要求来解释。

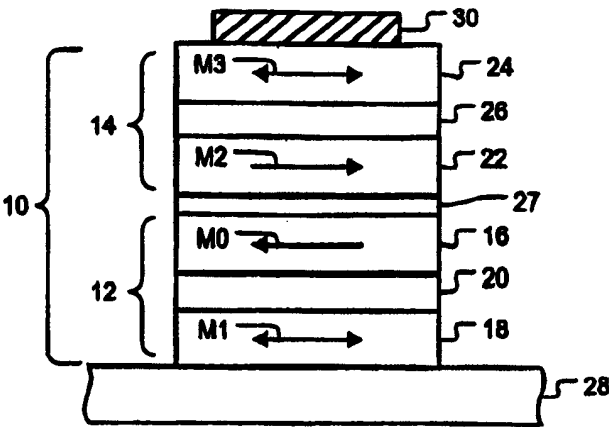


图 1

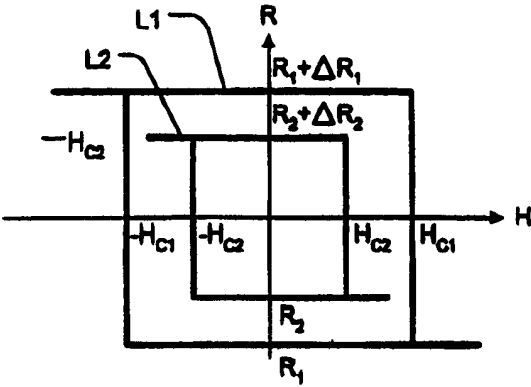


图 2

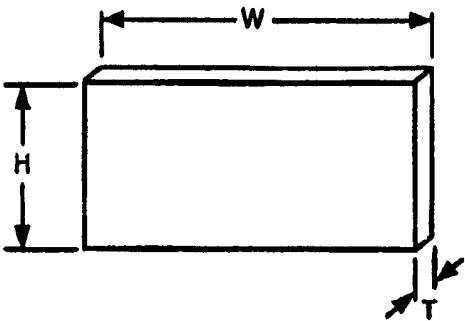


图 3

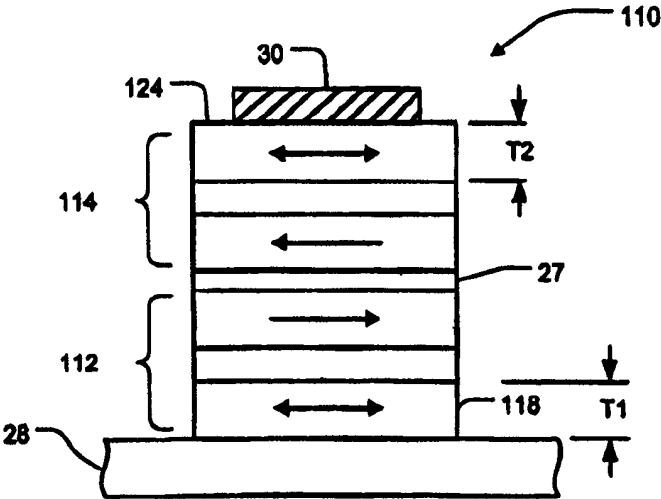


图 4

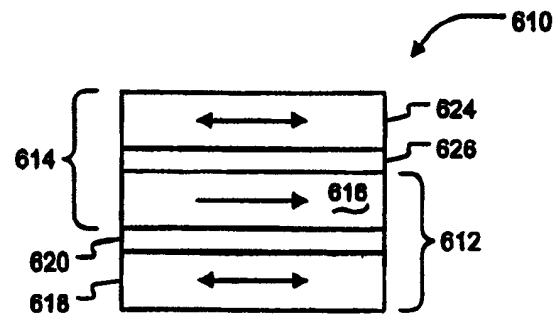


图 9

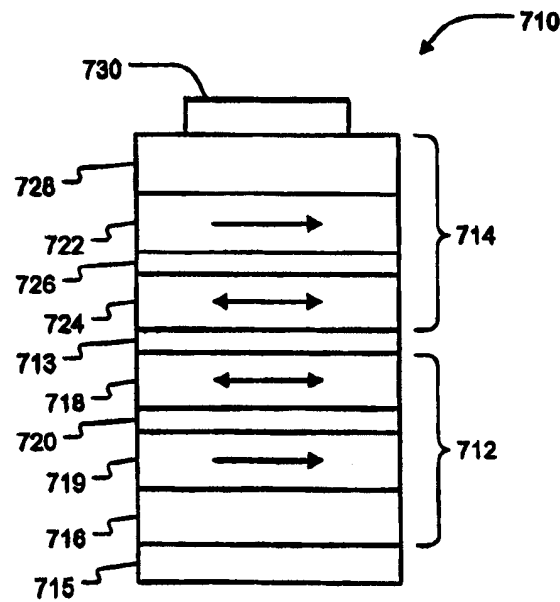


图 10

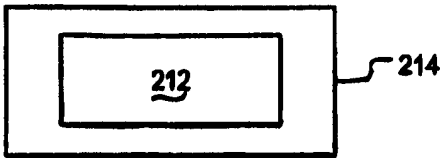


图 5

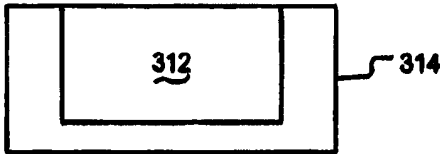


图 6

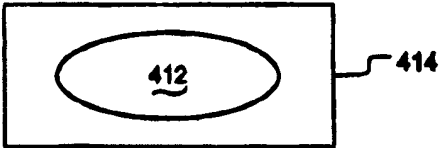


图 7

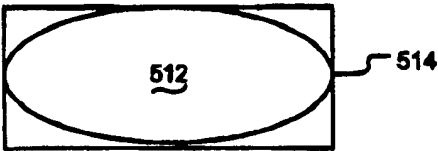


图 8

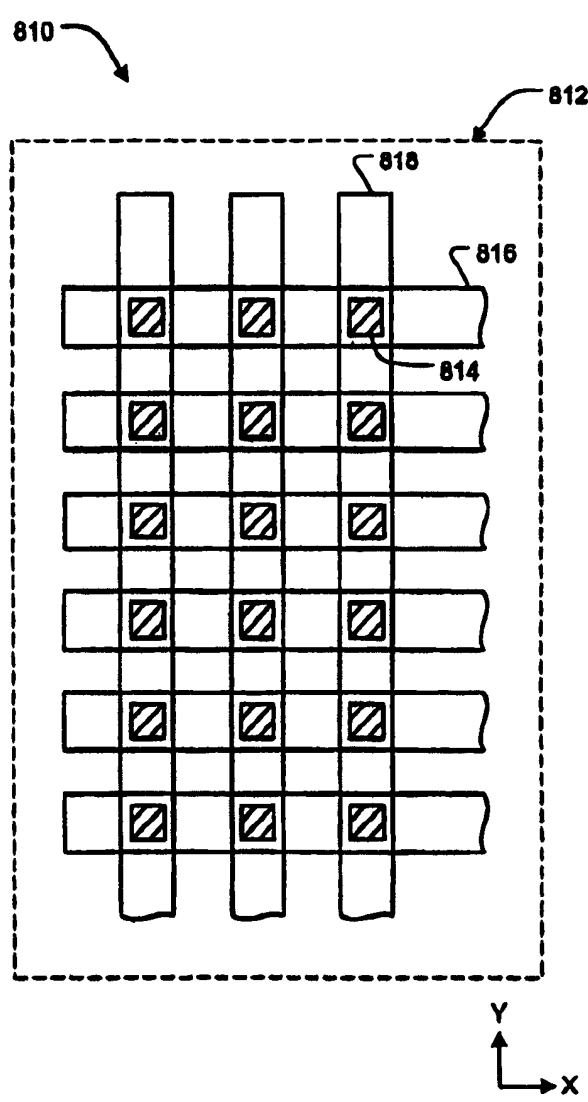


图 11

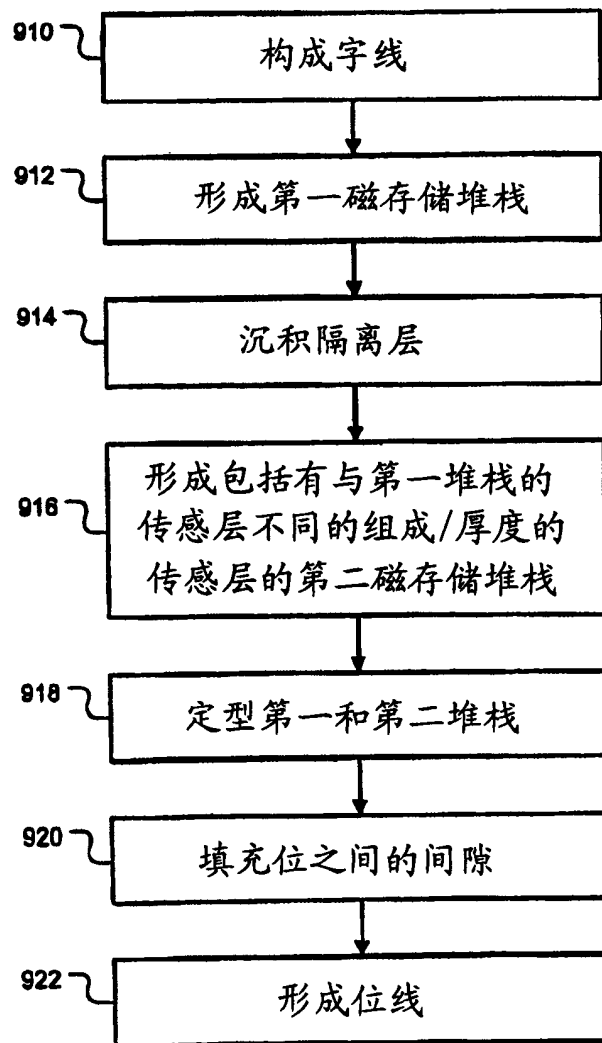


图 12

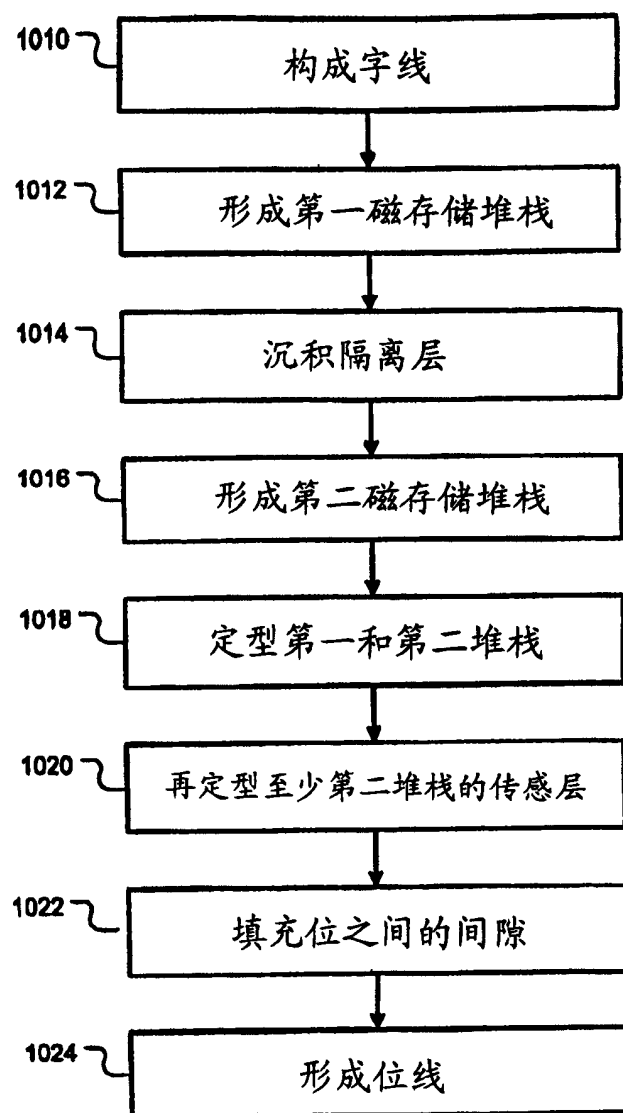


图 13