

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G11C 11/15

G11C 11/18



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02146945.8

[43] 公开日 2003 年 4 月 30 日

[11] 公开号 CN 1414559A

[22] 申请日 2002.10.24 [21] 申请号 02146945.8

[30] 优先权

[32] 2001.10.24 [33] US [31] 09/983404

[71] 申请人 惠普公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 L·T·特兰 M·沙马

T·C·安东尼

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

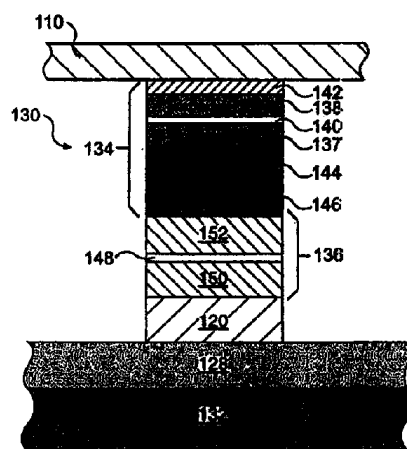
代理人 杨 凯 梁 永

权利要求书 2 页 说明书 16 页 附图 8 页

[54] 发明名称 其存储单元具有串联的磁隧道结和隧道结的存储器件

[57] 摘要

一种存储器件(10)包括其磁隧道结(134, 234, 334)与隧道结(136, 236, 336)串联的双隧道结存储单元(130, 230, 330)。磁隧道结(134, 234, 334)在写入操作时可以从第一电阻状态改变为第二电阻状态。磁隧道结(134, 234, 334)具有与隧道结(136, 236, 336)不同的电阻电压特性,此不同的电阻电压特性允许在写入操作时熔断磁隧道结(134, 234, 334)而不熔断隧道结(136, 236, 336)。磁隧道结(134, 234, 334)电阻状态的变化改变了所选择的存储单元(130, 230, 330)的电阻,在读出操作时可检测这种电阻变化。



1. 一种存储单元(130, 230, 330), 它包括:
第一隧道结(134, 234, 334); 以及
- 5 与所述第一隧道结(134, 234, 334)串联的第二隧道结(136, 236, 336), 其中所述第一隧道结(134, 234, 334)可以从第一电阻状态改变到第二电阻状态, 并且所述第一隧道结(134, 234, 334)具有与所述第二隧道结(136, 236, 336)不同的电阻-电压特性。
2. 如权利要求1所述的存储单元(130, 230, 330), 其特征在于:
10 当在所述存储单元(130, 230, 330)的两端产生电压时所述第一隧道结(134, 234, 334)的电阻比所述第二隧道结(136, 236, 336)的电阻下降得慢。
3. 如权利要求1所述的存储单元(130, 230, 330), 其特征在于所述
15 所述第一隧道结(134, 234, 334)包括:
两个磁性层(137, 138, 237, 238, 337, 338); 以及
设置在所述磁性层(137, 138, 237, 238, 337, 338)之间的绝缘
体(140, 240, 340)。
4. 如权利要求3所述的存储单元(130, 230, 330), 其特征在于所
述第二隧道结(136, 236, 336)包括:
20 与所述第一隧道结(134, 234, 334)串联的绝缘体(148, 248, 348)。
5. 如权利要求4所述的存储单元(130, 230), 其特征在于所述第
二隧道结(136, 236)包括:
两个导体(150, 250, 152, 252), 它们分别设置在所述绝缘体(148,
248)的两侧。
- 25 6. 如权利要求4所述的存储单元(330), 其特征在于: 所述第二隧
道结(336)共用所述第一隧道结(334)的所述磁性层(337)之一。
7. 如权利要求6所述的存储单元(330), 其特征在于所述第二隧
道结(336)包括:

导体(350), 并且其中所述绝缘体(340)设置于所述导体(350)和所述共用的磁性层(337)之间。

8. 如权利要求 3 所述的存储单元(130, 230, 330), 其特征在于: 所述磁性层(137, 138, 237, 238, 337, 338)是铁磁性的。

5 9. 一种存储单元(130, 230, 330), 它包括:

 第一隧道结(134, 234, 334), 它包括:

 两个铁磁层(137, 138, 237, 238, 337, 338); 以及

 设置在所述各铁磁层(137, 138, 237, 238, 337, 338)之间的绝缘体(140, 240, 340);

10 第二隧道结(136, 236, 336), 它包括:

 绝缘体(148, 248, 348), 以及

 邻近所述绝缘体(148, 248, 348)的至少一个导体(150, 152, 250, 252, 350), 其中所述第二隧道结(136, 236, 336)与所述第一隧道结(134, 234, 334)串联。

15 10. 如权利要求 9 所述的存储单元(130, 230, 330), 其特征在于: 当在所述存储单元(130, 230, 330)两端产生电压时所述第一隧道结(134, 234, 334)的电阻比所述第二隧道结(136, 236, 336)的电阻下降得慢。

其存储单元具有串联的磁隧道结和隧道结的存储器件

5

相关的申请

共同受让人的以下申请可能包含一些共同的公开内容并可能与本发明有关:

美国专利申请第 号, 名称为“具有双隧道结存储器单元的存储器件”(代理人案件目录 No.HP 10015672-1)。

10

技术领域

本发明的技术领域是存储数据的存储器件, 更具体地说, 所述技术领域是其存储单元具有串联的隧道结的存储器件。

15

背景技术

存储器件用在消费电子产品中存储诸如产品所用的指令等数据。非易失性存储器比较理想因为它们不需要电源来保持数据。所以, 当电源用尽或与存储器件断开时存储在非易失性存储器的数据依然存在。消费者也喜欢体积小价格低的产品, 非易失性, 高密度和低成本等要求是存储器件设计的主要驱动因素。低能耗也很吸引人, 因为可以使用较小的电源, 从而减小消费电子产品的体积。

20

非易失性存储器通常具有一次性可编程(OTP)或可重复编程的存储单元。可重复编程的存储单元可在二进制状态之间转换。而 OTP 存储单元一旦已编程, 其状态就恒定不变。OTP 存储器件一般可以归类为熔丝、反熔丝、电荷存储器、或掩模只读存储器(mask ROM)中的一种。

25

熔丝存储单元的编程是在编程时在单元上加电压使该单元“烧

断”。熔丝存储单元的二进制状态用在读出过程中测量的单元电阻来检测。传统的熔丝存储器件具有低的阵列密度，因为每个熔丝元件所需的接触区域占了衬底的很大面积。传统的熔丝存储器件还常含有隔离元件，例如二极管或晶体管，这就更增加了存储单元的尺寸。

- 5 隔离二极管和晶体管的电流能力有限，会因对熔丝存储单元进行编程所需的电流而损坏。此外，隔离二极管和晶体管通常是有源硅基元件，很容易在硅晶体衬底上形成。这类隔离元件可能妨碍多层熔丝 OTP 阵列的堆叠，从而降低了可能的器件容量。硅基隔离元件，例如微晶和非晶二极管和晶体管，也可允许堆叠，但增加了制造的复杂性和成本。

- 10 传统的反熔丝存储单元常包括金属-电介质-金属的叠堆。传统的反熔丝存储单元的编程是在单元上加写入电位。写入电位触发该反熔丝，降低了已编程单元的电阻。传统的反熔丝存储单元具有许多和熔丝/晶体管单元相同的缺点。例如，传统的反熔丝存储单元可能需要硅基隔离元件，这就降低了阵列密度。

普通的传统电荷存储存储器是 EPROM。EPROM 存储器利用 Fowler-Nordheim 隧道效应把电荷从衬底上转移到存储单元的浮动栅极上。EPROM 存储器需要大的写入电压，且 EPROM 器件的写入速度受隧穿电流密度的限制。

- 20 掩模 ROM 存储器是在制造时编程的、而不是在用户处编程(现场编程)的。因此，每批掩模 ROM 器件都是专用的。在大多数制造过程中，节约成本是靠增加产量来实现的。所以，为使掩模 ROM 的生产能成本低廉，对某一专用存储器必须有大量的需求。这种大规模过程的要求使掩模 ROM 对许多应用而言都太昂贵了。

- 25 因此需要一种低成本的能够高密度排列存储单元的存储器。也需要一种不需要过量 处理功率的存储器件。

发明内容

按照第一方面，一种存储器件包括具有与隧道结串联的磁隧道结的双隧道结存储单元。磁隧道结在写入操作时从第一电阻状态改变为第二电阻状态。磁隧道结具有与隧道结不同的电阻-电压特性，
5 这种不同的电阻-电压特性允许在写入操作时熔断磁隧道结而不熔断隧道结。磁隧道结可以起反熔丝的作用、使得熔断磁隧道结造成磁隧道结短路。存储单元的这种结果电阻变化在读出操作中可检测到。

按照第一方面，当磁隧道结被熔断时，隧道结可以为编程的存储单元提供隔离功能。所以，不需要硅基的隔离二极管和/或晶体管来隔离存储器件中的存储单元。故存储器件可以包括存储元件的一些堆叠层，增加了器件容量。
10

按照第一方面，该存储单元比传统的具有二极管/晶体管隔离元件的存储单元要小些。这就可增加阵列密度。没有二极管/晶体管隔离元件也简化了存储器件的制造。
15

按照第二方面，可以通过在存储单元上加写入电流或写入电压来对选择的存储单元进行编程。在施加写入电流或写入电压时，磁隧道结的电阻比隧道结的电阻下降得较为缓慢。

按照第二方面，由于磁隧道结的电阻较高，所以在磁隧道结两端形成了较高的电压。由于隧道结的电阻比磁隧道结的电阻下降得快，所以存储器上的大部分电压加在磁隧道结两端。可以相应地这样选择写入电压或电流、使得磁隧道结两端相对较高的电压大于磁隧道结的击穿电压，而隧道结两端相对较低的电压不超过隧道结的击穿电压。
20

按照第三方面，隧道结和磁隧道结的击穿电压和电阻-电压特性可以根据形成隧道结和磁隧道结所用的材料来确定。
25

按照第三方面，由于改变形成隧道结的具体材料比较容易，所以简化了存储单元的制造。

按照第四方面，可以用传统的例如淀积和溅射等工艺来制造存

储单元。

按照第四方面，可以以比较低的成本来制造存储器件。

从以下结合附图的详细说明可以明白其他的方面和优点。

5 附图说明

将参阅以下附图进行详细说明，附图中同样的数字代表同样的元件，并且附图中：

图 1 是具有双隧道结的存储单元的存储器阵列的示意的透视图；

10 图 2 是包括图 1 所示的存储器阵列的存储器件的示意图以及关联的读出/写入电路；

图 3A 是图 1 所示存储器阵列的一部分的截面图；

图 3B 是图 3A 所示存储器阵列的一部分的顶视图；

图 3C 是图 3A 所示存储单元的实施例的截面图；

图 4 是隧道结电阻和隧道结两端电压的关系曲线；

15 图 5 是在双隧道结存储单元中隧道结电流和所加电压的关系曲线；

图 6 是另一实施例中隧道结电阻和隧道结电压的关系曲线；

图 7 是存储单元另一实施例的截面图；以及

图 8 是存储单元又一实施例的截面图。

20

具体实施方式

以下将用优选实施例结合附图来讨论具有双隧道结存储单元的存储器件。

25 图 1 是具有双隧道结存储单元 130 的存储器阵列 100 的透视示意图。在存储器阵列 100 中，字线 110 沿水平延伸，而位线 120 沿垂直延伸。字线 110 与位线 120 相交在存储单元 130 处。每个存储单元 130 可以存储一个二进制状态：或是“1”或是“0”。在图 1 中，双隧道结存储单元 130 象征性的表示为两个电阻元件。每个电阻元

件对应于存储单元 130 中一个隧道结。

图 2 是包括图 1 所示的存储器阵列 100 的存储器件 10 的示意图以及关联的读出/写入电路。存储器件 10 包括：连接到存储器阵列 100 中 1-6 行的行解码器 300；连接到存储器阵列 100 中 1-7 列的列解码器 400；以及在读出过程中检测存储单元 130 的二进制状态的读出放大器 500。图 2 示出 6 行字线 110 和 7 列位线 120，相交在 42 个存储单元 130，这仅是为了说明。实际上可以使用具有 1024 x 1024 个或更多存储单元的阵列。

行解码器 300 包括多个开关，用来在写入过程中把或者编程写入电压 V_w 或者写入电流 I_w 加到包含所选择的存储单元 130 的行，或者在读出过程中加读出电位 V_r 。同理，列解码器 400 可包括有多个开关，用来在写入过程中将包含所选择的存储单元 130 的所选择的列接地，或者在读出过程中将所选择的列连接到读出放大器 500。

要对所选择的存储单元 130 编程、即“写入”时，行解码器 300 将写入电压 V_w 或写入电流 I_w 与所选择的列中的行线 110 之间的开关接通，而列解码器 400 接通地与所选择的列中的位线 120 之间的开关。例如，根据存储器阵列 100 中包含的双隧道结存储单元 130 的类型或存储器件所需的工作模式而在写入电压 V_w 和写入电流 I_w 之间进行选择。

按照一个实施例，存储单元 130 的两个隧道结具有不同的电阻电压特性。这样选择所述不同的电阻电压特性、使得加在所选择的存储单元 130 上的写入电压 V_w 或写入电流 I_w 足以击穿或熔断所选择的存储单元 130 的第一磁隧道结、从而改变所选择的存储单元 130 的电阻。写入电压 V_w 和写入电流 I_w 不足以熔断存储单元 130 的第二隧道结。

可以从用于形成隧道结和磁隧道结的材料来实现所述不同的击穿电压和电阻-电压特性。具体地说，申请人已观察到，包括磁性层或“电极”的隧道结一般在加电压时其电阻的下降比具有非磁性电

极的隧道结要慢。因此，当写入电压 V_w 或写入电流 I_w 加在所选择的存储单元 130 上时，磁隧道结的电阻比隧道结的电阻下降得慢。在所选择的实施例中，磁隧道结的电阻比隧道结的电阻可能要大比如一个数量级或更多。可以选择磁隧道结两端的较高电压降使其超过该磁隧道结的击穿电压、使得该磁隧道结熔断而隧道结不熔断。

已编程存储单元 130 中的隧道结可基本上保持其写入前的电阻，并可用作已编程存储单元 130 的隔离元件。磁隧道结在加上写入电压 V_w 或写入电流 I_w 后可以是短路状态。可以在读出操作时检测由短路的磁隧道结引起的所选择的存储单元 130 的电阻变化。下面详细讨论存储单元的实施例和写入过程。

图 3A 是图 1 所示存储器阵列 100 的一部分的截面图，包括存储单元 130 的一个实施例。图 3B 是存储器阵列 100 的一部分的顶视图。图 3C 是图 3A 所示单个存储单元 130 的截面图。

参阅图 3A 和 3B，存储器阵列 100 的图示部分包括位于字线 110 和位线 120 的交点上的多个存储单元 130。字线 110 和位线 120 可以用导电材料制成，例如，Al、Au、Ag、Cu、它们的合金以及其他材料。字线 110 和位线 120 可以用已知工艺形成，例如溅射和刻蚀工艺。

位线 120 设置在存储器阵列 100 的衬底 132 上的绝缘层 128 之上。绝缘层 128 可以是例如， SiO_x 、 SiN_x 、 SiO_xNy 、 AlO_x 、 TaO_x 、 TiO_x 、 AlN_x 以及其他非导电材料。绝缘层 128 可以用已知的淀积工艺形成，例如化学汽相淀积(CVD)。衬底 132 可以是例如半导体衬底。衬底 132 可以包括电子电路，而绝缘层 128 提供电路和存储单元 130 之间的隔离。或者，位线可直接设置在衬底 132 上。

绝缘体 125 可以设置在绝缘层 128 上并且处在存储单元 130 之间。绝缘体 125 在图 3B 中未示出。绝缘体 125 可以是例如， SiO_x 、 SiN_x 、 SiO_xNy 、 AlO_x 、 TaO_x 、 TiO_x 、 AlN_x 以及其他非导电材料。绝缘体 125 可以通过例如，淀积工艺形成。

参阅图 3C，存储单元 130 包括磁隧道结 134 和与磁隧道结 134

串联的隧道结 136。磁隧道结可以一般定义为在磁性层之间夹有绝缘体。磁性层可以称作隧道结的“电极”或“端子”，可以是铁磁性的。隧道结可以一般定义为在导电层之间夹有绝缘体。导电层可以称作隧道结的电极或端子。在本文中讨论了另一种具有一层磁性电极的隧道结的形式。

图 3C 所示的磁隧道结 134 可以是例如隧道效应磁阻(TMR)隧道结，与自旋有关的隧道结(SDT)或其他类型的磁隧道结。在图示的实施例中，磁隧道结是具有铁磁层的 TMR 隧道结。磁隧道结 134 包括第一铁磁层 137 和第二铁磁层 138。第一和第二铁磁层 137、138 由绝缘体 140 隔离。第二铁磁层 138 可以用导电电极 142 与字线 110 电连接。或者，电极 142 可省略，第二铁磁层 138 直接连接到字线 110。磁隧道结 134 也可包括反铁磁层 144 和在隧道结 136 上的籽晶层 146。

第一铁磁层 137 可以具有固定的磁化方向，如图中箭头所示，第二铁磁层 138 可以具有与第一铁磁层 137 的磁化平行或逆平行的磁化方向。但是，图 3C 所示的磁力方向不是存储单元 130 工作所需的。

隧道结 136 与磁隧道结 134 串联，形成双隧道结存储单元 130。隧道结 136 包括：绝缘体 148；将绝缘体 148 连接到位线 120 的第一导体 150；以及绝缘体 148 和磁隧道结 134 之间的第二导体 152。或者，可以将第一导体 150 省略，而将绝缘体 148 直接连接到导电位线 120 上。第一和第二导体 150、152 可以是非磁性导体。

磁隧道结 134 的电阻-电压特性与隧道结 136 不同。在加有电压时磁隧道结 134 的电阻比隧道结降得慢。因此，当写入电压 V_w 或写入电流 I_w 加在所选择的存储单元 130 上时，磁隧道结 134 的电阻比隧道结 136 的电阻下降得慢。磁隧道结 134 和隧道结 136 的示范电阻值示于图 4。

图 4 是隧道结 134、136 的电阻 R_1 和 R_2 分别与隧道结 134、136 上电压的关系曲线。在图 4 中，磁隧道结 134 具有 NiFe 磁性层或电

极以及 AlO(2)绝缘体。隧道结 134 包括 Al 导体或电极以及 AlO(1.25)绝缘体。

如图 4 所示, 磁隧道结 134 的电阻-电压(R-V)曲线下降得比隧道结 136 的 R-V 曲线要慢。这种特性可用来在写入电压 V_w 或写入电流 I_w 加在所选择的存储单元 130 上时获得磁隧道结 134 上较高的电压降。所以, 对所选择的存储单元 130 进行编程、即写入时, 只要加上计算好的写入电压 V_w 或写入电流 I_w , 使磁隧道结 134 上产生大于其击穿电压 V_{B1} 的电压降 V_1 , 而在隧道结 136 上产生不超过其击穿电压 V_{B2} 的电压降 V_2 即可。

写入过程可以结合当写入电压 V_w 加在所选择的存储单元 130 上时产生的电压来说明。写入电压 V_w 可以由加在所选择的存储单元 130 上的恒定电流 I_w 产生, 或者, 可以把写入电压 V_w 直接加在所选择的存储单元 130 上。

如果施加写入电流 I_w , 按以下方程确定电压 V_1 和 V_2 :

$$\begin{aligned} (1) \quad V_1 &= I_w \cdot R_1 \\ (2) \quad V_2 &= I_w \cdot R_2 \end{aligned}$$

式中: V_1 为磁隧道结 134 上的电压降;

V_2 为隧道结 136 上的电压降;

R_1 为磁隧道结 134 的电阻;

R_2 隧道结 136 的电阻。

如 V_1 和 V_2 的方程所示, 电阻 R_1 和 R_2 决定了磁隧道结 134 和隧道结 136 上的电压。 R_1 和 R_2 的值随隧道结 134、136 上的电压增加而改变, 可以用实验或模拟方法求出。具体的 V_1 和 V_2 值列于表 1。

再参阅图 4, 电阻 R_1 和 R_2 最初(即未加电压时)可以具有类似或相同的值。如果利用写入电流 I_w 对存储单元进行编程, 那么, 所述写入电流 I_w 在磁隧道结 134 和隧道结 136 上分别形成电压 V_1 和 V_2 。图 4 中, 磁隧道结 134 的击穿电压 V_{B1} 大约为 1.9 伏。隧道结的击穿电压 V_{B2} 也大约为 1.9 伏。但是, 由于在加有电压 V_w 的情况下, 磁

隧道结 134 的电阻 R_1 比隧道结 136 上的电阻 R_2 高得多, 所以写入电流 I_w 可使电压 V_1 (此处 $V_1 = I_w \cdot R_1$) 超过 V_{B1} , 而电压 V_2 (此处 $V_2 = I_w \cdot R_2$) 远低于 V_{B2} 。

5 利用写入电流 I_w 对存储单元 130 进行编程的优点在于, 一旦磁隧道结 134 熔断, 隧道结 136 上的电压基本保持不变。此特征使得不再需要对利用写入电流 I_w 来编程所选择的存储单元 130 进行仔细的定时。

10 如图 4 所示, 在磁隧道结 134 的击穿电压 V_{B1} 附近, 电阻 R_1 大约比电阻 R_2 高一个数量级。因此电压 V_2 远低于 V_{B2} , 减少了在写入操作时无意地使隧道结 136 烧穿的可能性。

如果用写入电流 I_w 来对存储单元 130 进行编程, 电压 V_1 和 V_2 可按下列方程确定:

$$(3) V_w = V_1 + V_2$$

$$(4) V_1 = V_w \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$(5) V_2 = V_w \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$(6) I = \frac{V_w}{R_1 + R_2}$$

15 式中, I 为通过存储单元 130 的电流。

由于在加有写入电压 V_w 时, 电阻 R_1 比电阻 R_2 高很多, 所以磁隧道结 134 上的电压 V_1 比隧道结 136 上的电压 V_2 也高得多。因此, 即使击穿电压 V_{B1} 和 V_{B2} 差不多, V_1 超过 V_{B1} 也在 V_2 过 V_{B2} 之前。

20 图 5 是关于图 4 所示的存储单元实施例数据的隧道电流与所加电压的关系曲线。如果在存储单元 130 上加大约 1.4 伏的写入电流 I_w , 在存储单元 130 上就会形成 3.2 伏的电压。结果, 隧道结(TJ)136 上的电压 V_2 约为 1.3 伏, 而磁隧道结(MTJ)134 上的电压 V_1 约为 1.9 伏。电压 V_1 使磁隧道结 134 击穿。当磁隧道结 134 击穿时, 隧道结 136

上的电压基本不变。

如果在存储单元 130 上加写入电压 V_w ，则存储单元 130 两端的电压 V_w 分到磁隧道结 134 和隧道结 136 上。如果写入电压 V_w 大约为 3.2 伏，则 V_1 和 V_2 可由上述方程 3-6 求出。此时， V_1 约为 1.9 伏， V_2 约为 1.3 伏，使磁隧道结 134 击穿。在此情况下，提供写入电压 V_w 的电压源最好是限流的。这样就可以选择电压源所提供的电流，使磁隧道结 134 击穿时隧道结 136 不被破坏。

结合以下实例讨论上述实施例的操作。

实例 1

参阅图 3C，存储单元 130 包括第一磁隧道结 134。磁隧道结 134 具有 NiFe 的第一铁磁层 137 和 NiFe 的第二铁磁层 138。铁磁层 137、138 的厚度约为 4nm。绝缘体 140 是 AlO，厚度约为 2.5nm。反铁磁层 144 由 IrMn 制成，厚度大约为 10nm。籽晶层 144 由 NiFe 和 Ta 制成，厚度大约为 11nm。

隧道结 136 包括 Al 的第一和第二导体 150、152，各厚 4nm。绝缘体 148 由 AlO 制成，厚度约为 1.65nm。

本实施例的 R-V 曲线示于图 4。磁隧道结 134 的电阻 R_1 比隧道结 136 的电阻 R_2 下降得要慢。隧道结 134 和 136 的击穿电压都是大约 1.9 伏。在此实例中，可以利用大约 3.2 伏的写入电压 V_w 对存储单元 130 编程。如图 5 所示，3.2 伏的写入电压 V_w 熔断了磁隧道结 134，却没有熔断隧道结 136。或者说，1.4 μ A 的写入电流 I_w 熔断了磁隧道结 134。1.4 μ A 的写入电流 I_w 在 1.9 伏电压 V_1 时熔断了磁隧道结 134。磁隧道结 134 熔断时电压 V_2 为 1.3 伏。

实例 2

参阅图 3C，存储单元 130 包括类似于实例 1 的磁隧道结 134。

隧道结 136 包括：Al 的第一导体电极 150，厚度约为 4nm；以及 NiFe 的第二铁磁层 152，厚度约为 4nm。绝缘体 148 由 AlO 制成，厚度约为 1.25nm。隧道结 136 包括非磁电极 150 和磁电极 152，所

以是一种“混合”隧道结的形式。

本实施例的 R-V 曲线示于图 6。磁隧道结 134 的电阻 R_1 比隧道结 136 的电阻 R_2 下降得要慢。

在此实例中，可利用大约 3.13 伏的写入电压 V_w 对存储单元 130 编程。磁隧道结 134 的击穿电压 V_{B1} 大约为 1.9 伏，而隧道结 136 的击穿电压 V_{B2} 大约为 1.8 伏。3.13 伏的写入电压 V_w 熔断了磁隧道结 134。当磁隧道结 134 熔断时电压 V_1 为 1.9 伏，电压 V_2 为 1.23 伏。

或者， $1.4\mu A$ 的写入电流 I_w 熔断了磁隧道结 134。 $1.4\mu A$ 的写入电流 I_w 在 1.9 伏的电压 V_1 时熔断了磁隧道结 134。在加有 $1.4\mu A$ 的写入电流 I_w 时电压 V_2 为 1.23 伏。

图 7 示出另一存储单元 230 的实施例。存储单元 230 适用于图 2 所示的存储器件 10。存储单元 230 包括与隧道结 236 串联的磁隧道结 234。存储单元 230 没有籽晶层和反铁磁层。

磁隧道结 234 包括第一铁磁层 237 和第二铁磁层 238。第一和第二铁磁层 237、238 被绝缘体 240 分隔开。第一和第二铁磁层 237、238 可以是铁磁性的。第二铁磁层 238 可用电极 242 电连接到字线 210。或者，电极 242 可省略。

隧道结 236 与磁隧道结 234 串联，形成双隧道结存储单元 230。隧道结 236 包括：绝缘体 248；将绝缘体 248 连接到字线 220 的第一导体 250；以及绝缘体 248 和磁隧道结 234 之间的第二导体 252。或者，第一导体 250 可省略。

图 8 示出磁隧道结 334 与隧道结 336 串联的存储单元 330。存储单元 330 适用于图 2 所示的存储器件 10。

磁隧道结 334 包括：铁磁层电极 338；铁磁层电极 337；以及绝缘体 340。隧道结 336 可以是包括导体 350 和绝缘体 348 的隧道结 336，并且所述第二隧道结与所述第一隧道结共用铁磁层电极 337。

在此实施例中，磁隧道结 334 的击穿电压比混合式隧道结 336 的击穿电压低。参阅图 6，隧道结 336 具有 V-R 曲线 R_2 ，它具有较

低的电阻，且电阻的下降比磁隧道结 334 的电阻 R_1 要快。

在上述实施例中，第一隧道结中第一和第二磁性层的各种材料包括，例如，CoFe、NiFeCo、Co 和 NiFe。磁性层可用例如溅射工艺形成。隧道结中的绝缘体可以用电介质材料制成，例如，SiOx、
5 SiNx、SiOxNy、AlOx、TaOx、TiOx、AlNx 以及其他绝缘材料。绝缘体的厚度大约在例如 .5nm 到 50nm，可以用 CVD 或其它淀积工艺形成。

反铁磁层可用例如 MnFe 和 IrMn 制成，并可用溅射工艺或其它已知工艺形成。籽晶层可用例如 Ta 和 NiFe 制成，并可用溅射或其它
10 它工艺形成。

导体可用例如 Al、Cu、Ag、Au 以及它们的合金制成。导体可用 DC 或 RF 溅射淀积工艺或其它工艺形成。

下表总结了所选择的存储单元实施例的实验电阻和击穿电压。加上写入电流 I_w ，以便在存储单元上产生电压 V_c ，而使存储单元熔断。表中列出的数值是当到达元件 1 的击穿电压 V_{B1} 时(即当所述单元熔断时)，每个单元中元件 1 和 2 的电阻 R_1 和 R_2 以及电压 V_1 和 V_2
15 的值。在“TJ OR MTJ IN A CELL”(单元中的隧道结或磁隧道结)栏下的材料代表用来形成在存储单元中所用的各存储元件例如隧道结或磁隧道结)的材料。所列材料对应于电极/绝缘体/电极的顺序。

20 表 1

单元中的隧道结或磁 隧道结	I_w (μA)	V_c (V)	V_1 (V)	R_1 ($M\Omega$)	V_2 (V)	R_2 ($M\Omega$)
1 NiFe/AlO(2)/NiFe 2 Al/AlO(1.25)/Al	1.4	3.20	1.9	1.58	1.30	.90
1 NiFe/AlO(2)/NiFe 2 NiFe/AlO(1.25)/Al	1.4	3.13	1.9	1.58	1.23	.86
1 NiFe/AlO(2)/NiFe 2 Al/AlO(1.25)/NiFe	1.4	3.09	1.9	1.58	1.19	.84

按照上述实施例，存储器件 10 不需要诸如二极管或晶体管等有源硅基隔离元件来隔离存储器阵列 100 中的存储单元。存储器件 10 因此可包括堆叠的存储器元件，增加了器件容量。隧道结可以作得比较小，这进一步提高了阵列 100 可能的阵列密度。

5 利用磁隧道结与隧道结串联的另一优点是，仅仅由于所用的电极材料不同，就可使磁隧道结的 R-V 曲线与隧道结的 R-V 曲线大不相同。因此不需要采用复杂而昂贵的改变存储单元几何尺寸的方法就可确保在一个隧道结两端的电压超过击穿电压时另一个隧道结两端的电压不超过击穿电压。

10 另一优点是存储单元的元件可以用已知的制造工艺用低成本制造。

参阅图 2，现结合图 3A-图 3C 所示的存储单元实施例来说明存储器件 10 的写入过程。在以下的说明中，加写入电流 I_w 对存储单元 130 进行编程。

15 参阅图 2，为了写入一个选择的存储单元 130，在与所选择的存储单元 130 交叉的字线 110 上加写入电流 I_w 。加写入电流 I_w 时可以接通行解码器 300 的一个开关以便将所选择的字线 110 连接到 I_w 。连接到未选择的字线 110 的行解码器 300 的开关都是开路。同时，列解码器 400 将与所选择的存储单元 130 交叉的位线 120 接地。于是，
20 写入电流 I_w 流过所选择的字线 110、所选择的存储单元 130、以及所选择的位线 120 到地。连接到未选择的位线 120 的开关都是开路。

 写入电流 I_w 在所选择的存储单元 130 上产生写入电压 V_c 。电压 V_c 等于磁隧道结 134 上的电压 V_1 加上隧道结 136 上的电压 V_2 。参阅图 3C，电压 V_1 超过了磁隧道结 134 的击穿电压 V_{B1} ，并击穿了
25 所选择的存储单元 130 中的磁隧道结 134。电压 V_2 没有超过隧道结 136 的击穿电压 V_{B2} 。电压 V_1 的作用是将导电材料扩散到绝缘体 140 中，从而击穿了磁隧道结 134。此过程是反熔丝作用。

 磁隧道结 134 的熔断将存储单元 130 的电阻由第一状态改变到

第二状态，读出过程可检测出来。磁隧道结 134 熔断后，反熔丝作用可以将磁隧道结 134 的电阻降低例如大约一个数量级左右。得到的电阻可能接近于零(即短路)。因此，写入过程之后，存储单元 130 的电阻与隧道结 136 上的电阻近似。

5 图 7 和图 8 所示实施例的写入过程与上述过程类似。

存储单元 130 和 330 可以设计成使磁隧道结包括具有固定磁化方向的磁性层和磁化方向与固定磁化平行或逆平行的另一磁性层。磁隧道结在逆平行状态具有较高的电阻，故在对存储器阵列 100 编程前可以将磁隧道结有利地置于逆平行状态。在对存储器阵列 100
10 编程前将磁隧道结有利地置于逆平行状态增加了单元熔断时电阻的变化。在读出过程中电阻较大的变化更易于区别。

可以利用由列解码器和行解码器 300、400 提供的写入电流将磁隧道结置于逆平行状态，如同在传统的 MRAM 的应用中一样。或者，存储器阵列 100 可在制造时将器件置于足以设定逆平行状态但又不
15 打乱插销连接(pinned)层磁化的强磁场中从而将其存储单元置于逆平行状。

本说明书中描述的存储单元实施例也可以对所选择的存储单元 130 加写入电压 V_w 来编程。

在以上写入过程中，行解码器 300 和列解码器 400 可以对检测
20 流经所选择的存储单元的电流的反馈传感器(未示出)作出响应。反馈传感器可以指明所选择的存储单元的磁隧道结何时被击穿，并在那时停止写入过程。

现参阅图 2 讨论存储器件 10 的读出过程。存储器件 10 可以采用等电位的读出过程，如授于 Tran 等人的美国专利 6259644 中所述，
25 其内容已作为参考包括在本文中。以下参考存储单元 130 大致说明等电位的读出过程，但所述过程适用于采用本说明所述的任一存储单元实施例的存储器件 10。

为了确定所选择的存储单元 130 的二进制状态(即，读出)，在对

应于所选择的存储单元 130 的行的字线 110 上加读出电位 V_r , 对应于所选择的存储单元 130 的列的位线 120 通过列解码器 400 连接到读出放大器 500。可以对存储器阵列 100 中所有其它的位线 120 加上相等的电位。读出放大器 500 检测来自所选择的位线 120 的电流, 5 以确定所选择的存储单元 130 的二进制状态。二进制状态可以用连接到读出放大器 500 的输出的处理装置(未示出)来检测, 读出放大器 500 的输出表明所选择的存储单元 130 的电阻状态。或者, 读出放大器 500 可包括测定二进制状态的电路, 并将二进制状态输出给处理装置。

10 所选择的存储单元 130 的二进制状态可以用所选择的存储单元 130 的电阻从高的第一数值在写入过程后改变为低的第二数值来测定。例如, 第一高电阻状态使通过存储单元 130 的电流较小, 代表二进制状态为“0”。第二低电阻状态(熔断磁隧道结 134 之后)使通过存储单元 130 的电流较大, 代表二进制状态为“1”。

15 在写入过程之后, 存储单元 130 保持隧道结 136 为未短路状态。因此, 在对所选择的存储单元 130 编程后, 存储器阵列中没有短路。此隔离作用可允许对多个单元 130 编程而不影响存储器阵列 100 中的读出和写入过程。

按照上述实施例, 二进制状态“0”和“1”可以存储在存储单元 20 元中。写入前存储单元的第一高电阻状态可对应于存储单元的二进制“0”, 第二低电阻状态可对应于存储单元的二进制“1”。不过这种约定是任意的, 二进制为“0”的赋值可重新赋值为“1”, 或其他任何符号值。

在本说明书中, 对在存储器阵列中写入状态“0”和“1”的电 25 流的约定也是任意的, 可以重新赋值以适合存储器件 10 的所需应用。

上述实施例是从将磁隧道结短路而将存储单元的电阻从第一高状态改变为第二低状态来进行讨论的。存储单元的电阻也可用将导电材料部分扩散到磁隧道结绝缘体上的方法来改变。这称为“部分

熔断”。磁隧道结的部分熔断降低了磁隧道结的电阻但并不将磁隧道结短路。导电元件扩散到电介质上可明显降低已编程存储单元的电阻，此电阻的变化可由读出过程检测。

在本说明书中，“行”，“列”，“字”和“位”等术语并不意味存储器阵列的固定方向。此外，这些术语也不一定意味正交关系。

在本说明书中，术语“层”用来描述存储单元实施例中的各种元件。术语“层”并不限于任何具体的厚度，宽度或长宽比。

图 2 所示的读出放大器 500 是检测存储器件 10 中存储单元二进制状态的检测装置的一个实例。在实际中，其他读出装置，例如互阻抗读出放大器，电荷注入读出放大器，差分读出放大器，数字差分读出放大器等，均可使用。图中示出读出放大器 500 来检测存储器阵列 100 中存储单元的二进制状态。在实际中，可以将许多读出装置连接到存储器阵列。

存储器阵列 100 可以在多种应用中使用。一种应用是具有存储模块的计算装置。存储模块可以包括一个或多个存储器阵列 100 用作长期存储。存储模块可以用在诸如便携式电脑，个人电脑以及服务器等装置中。

虽然存储器装置 10 是结合示范的实施例加以描述的，但是，对本专业的技术人员而言，许多改动是一目了然的，本公开的意图是覆盖其各种变型。

图 1

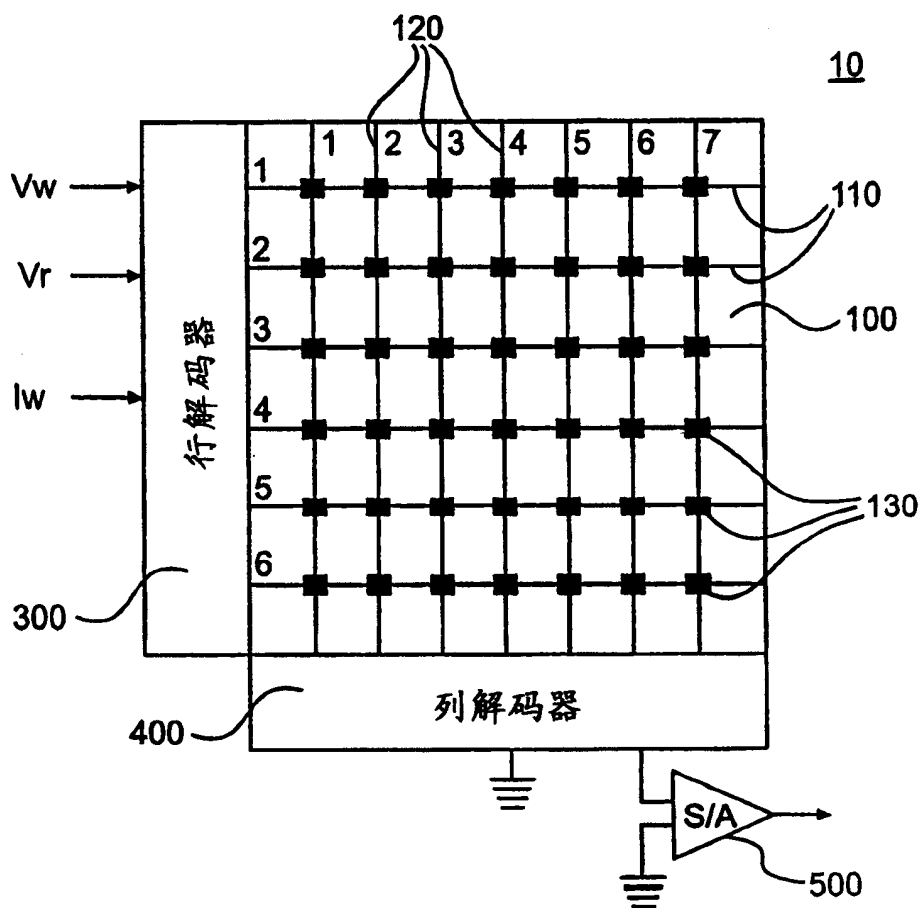
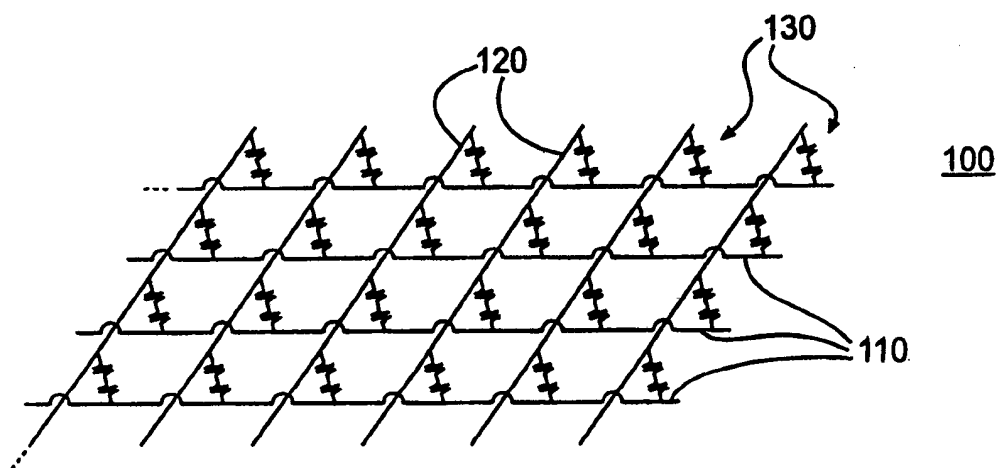


图 2

图 3A

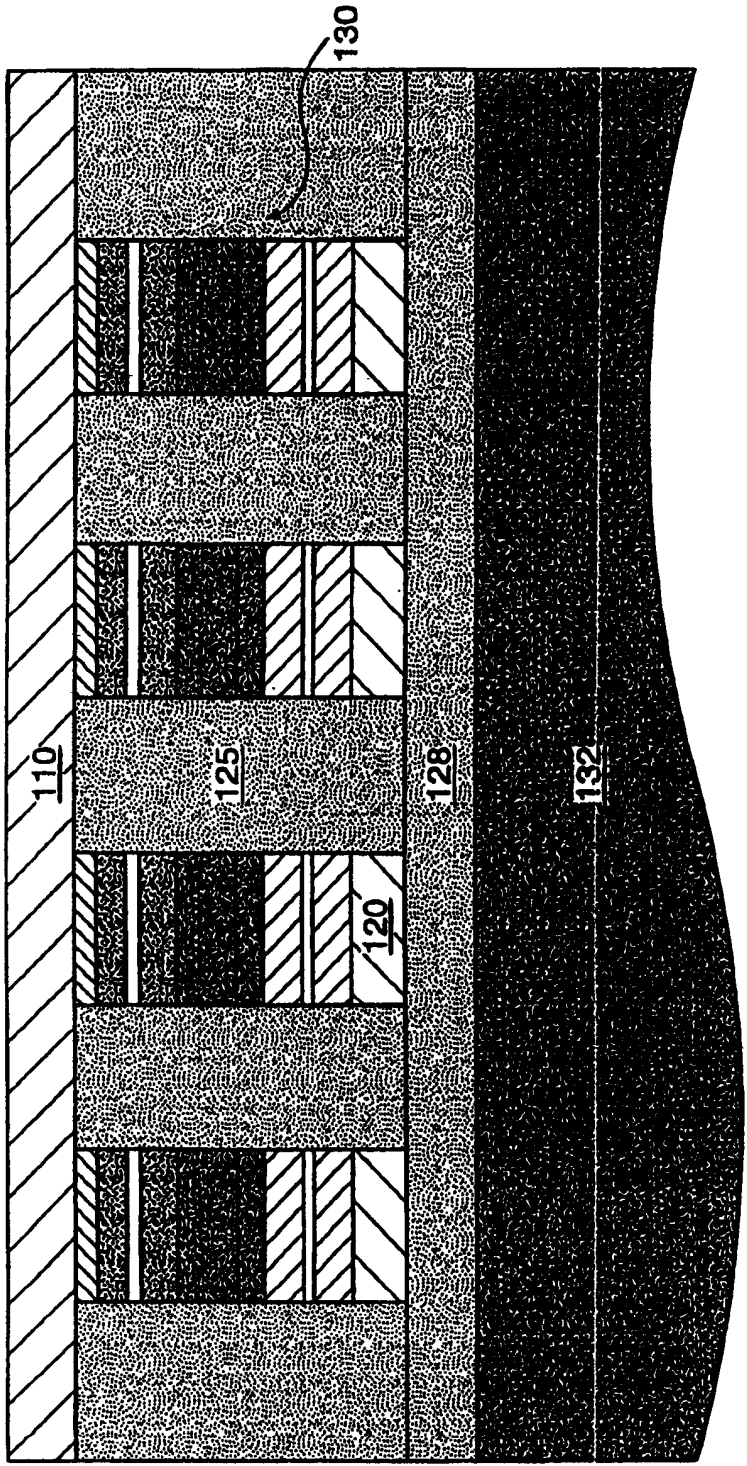


图 3B

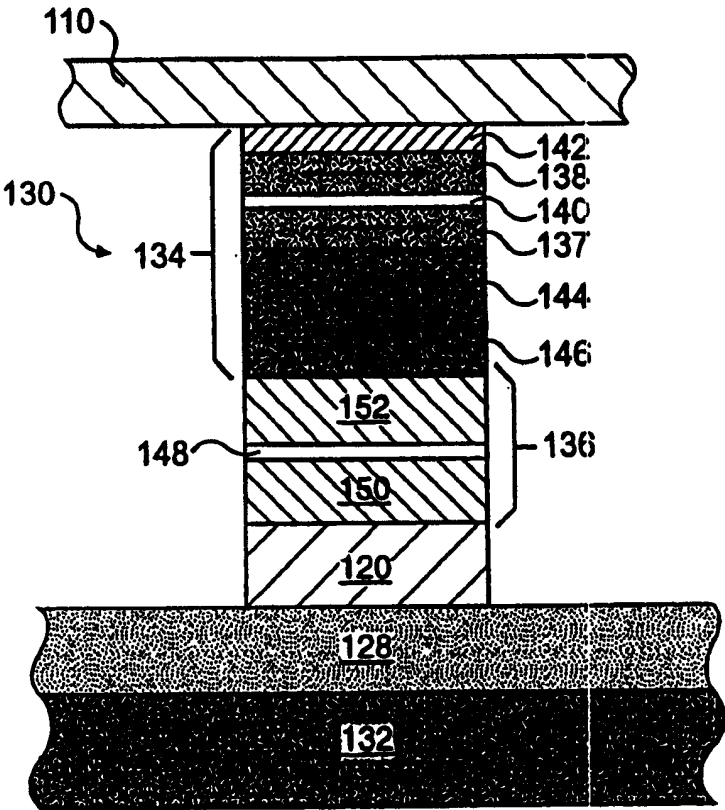
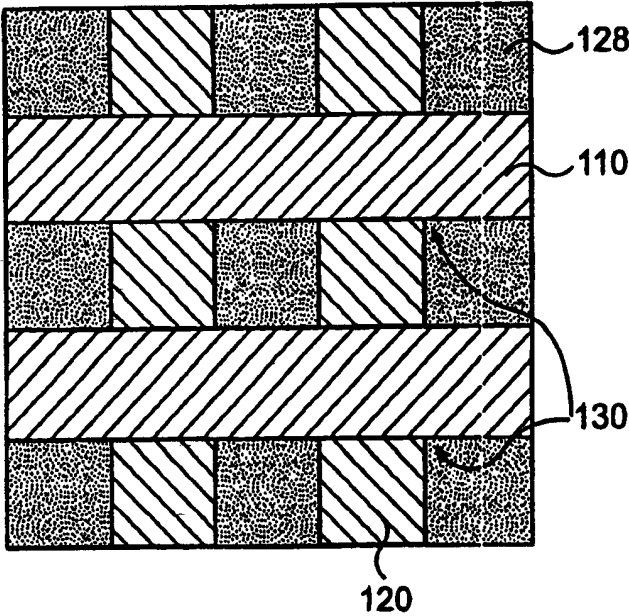


图 3C

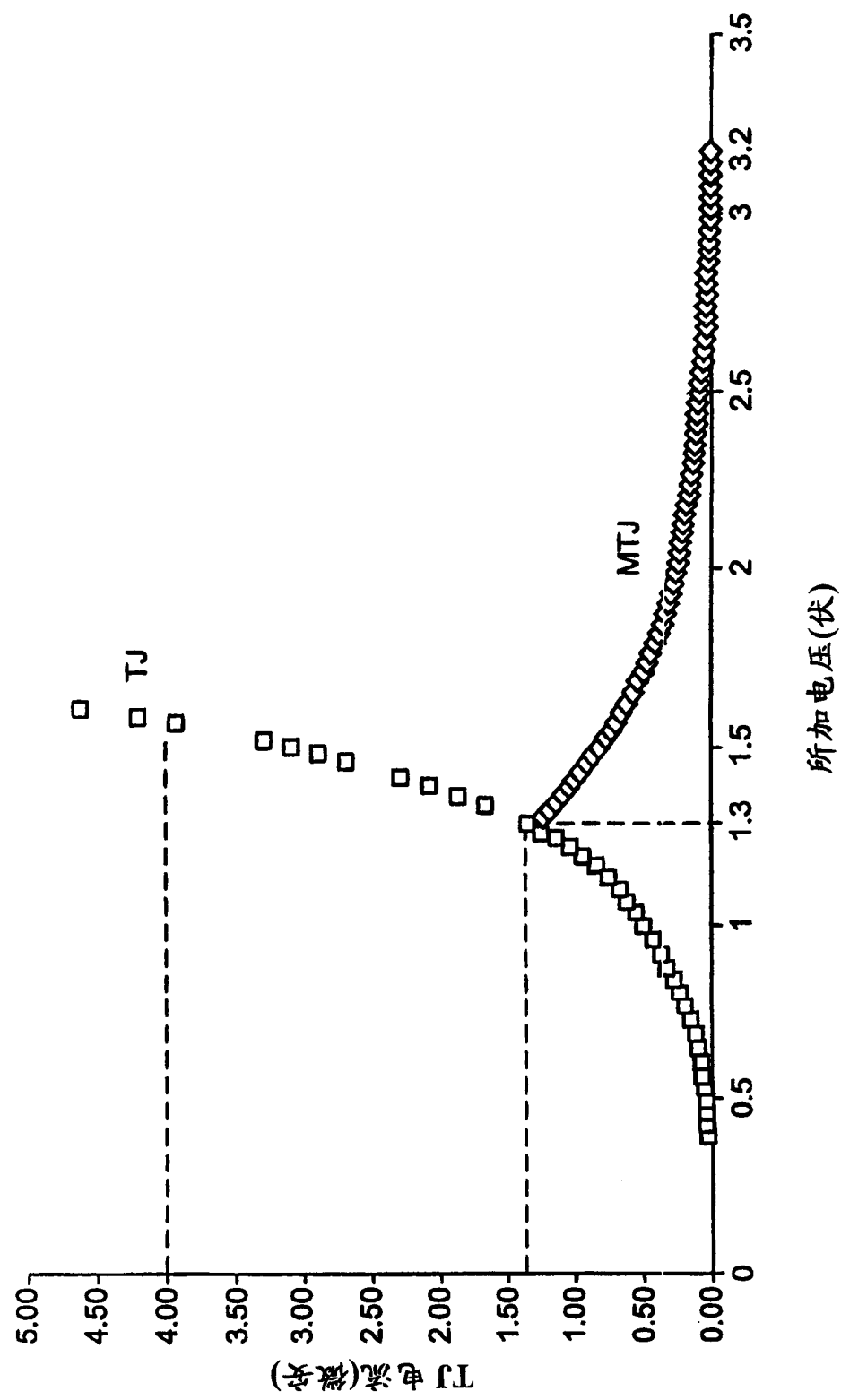


图 5

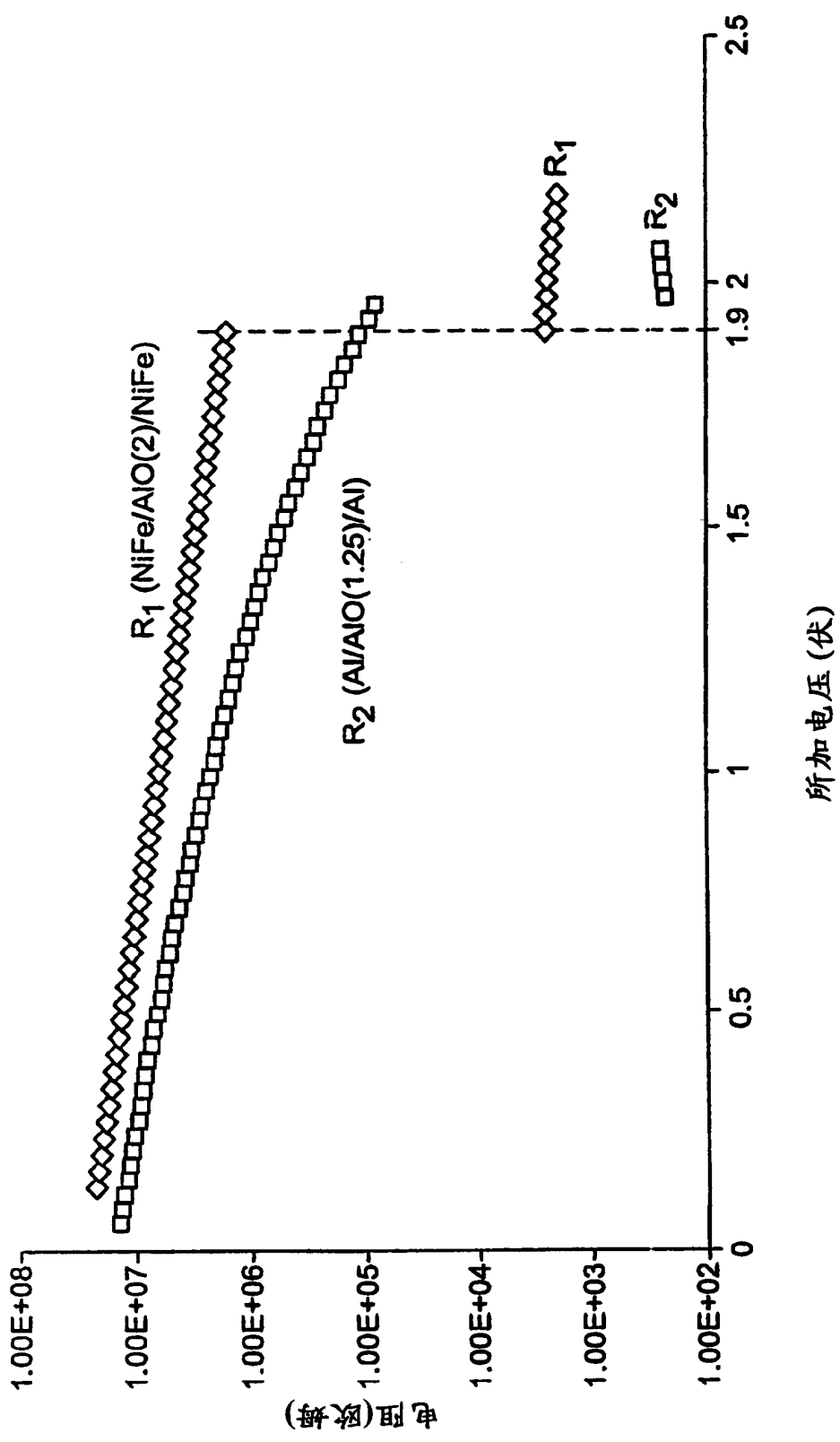


图 4

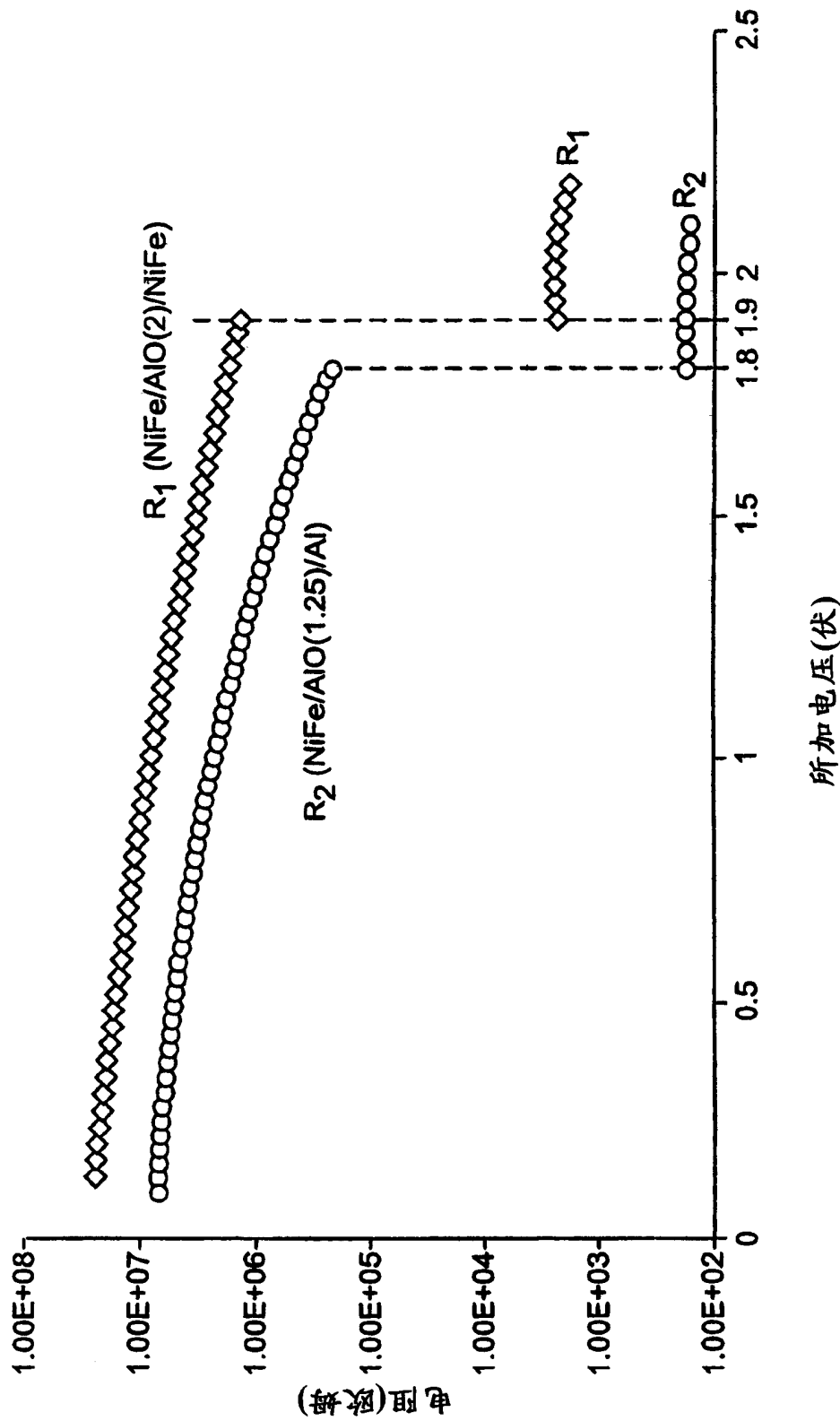


图 6

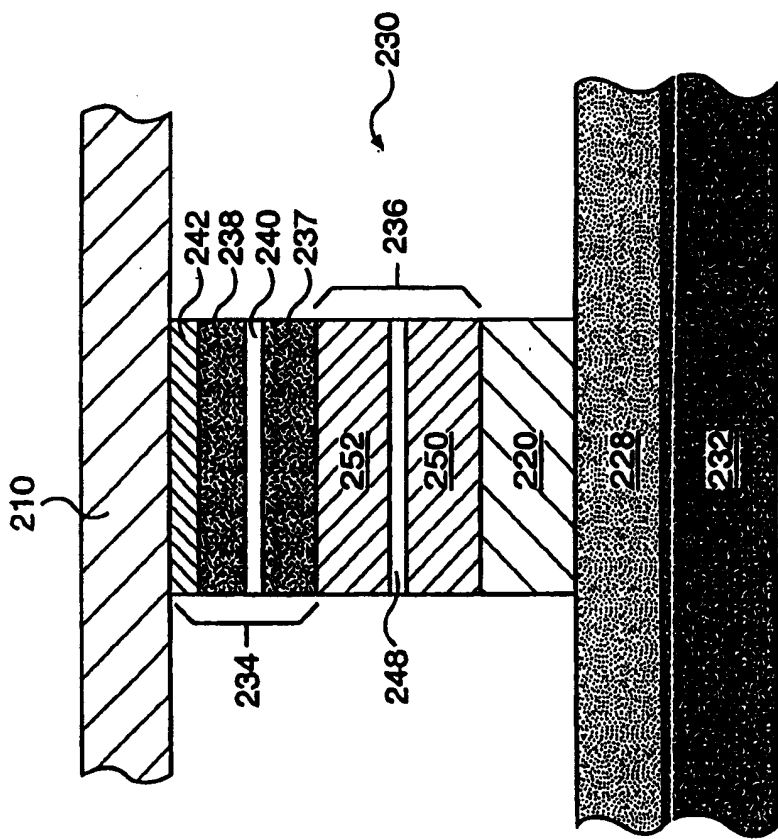


图 7

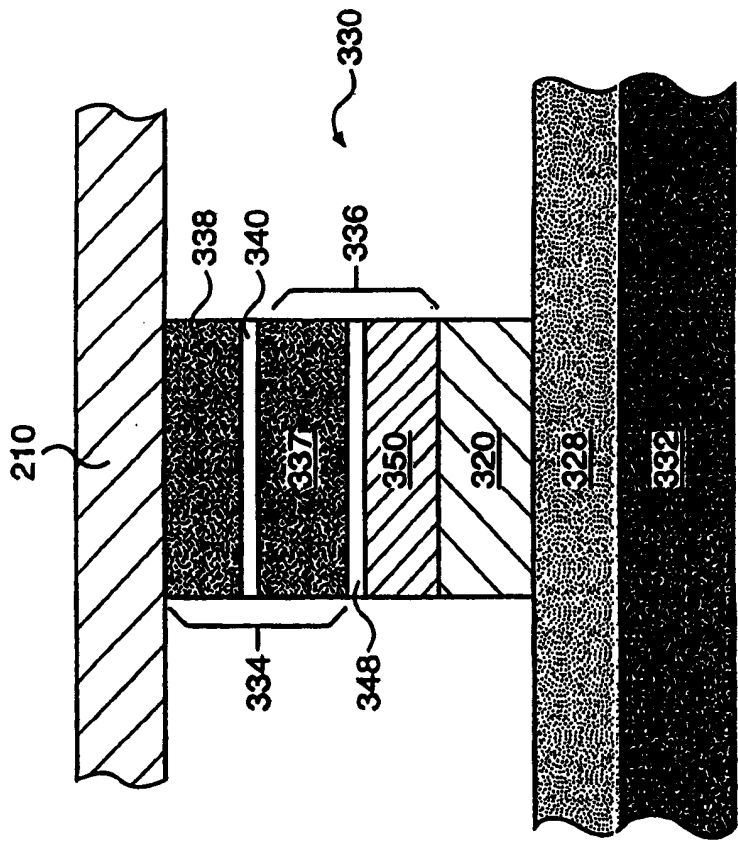


图 8