

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01L 43/08

G11B 5/39



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98122589.6

[45] 授权公告日 2004 年 12 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 1179424C

[22] 申请日 1998. 11. 25 [21] 申请号 98122589. 6

[30] 优先权

[32] 1998. 1. 6 [33] US [31] 003320

[71] 专利权人 惠普公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 T·C·安东尼

审查员 徐金红

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

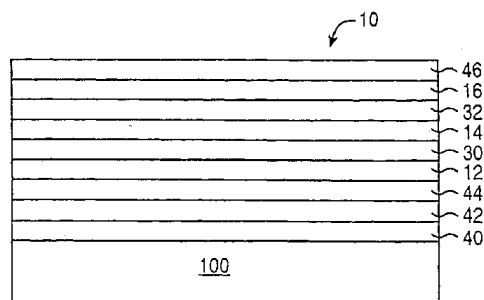
代理人 王勇 陈景峻

权利要求书 3 页 说明书 5 页 附图 2 页

[54] 发明名称 具有增大磁阻的铁磁隧道结

[57] 摘要

本具有增大其磁阻的构形和/或分界层 30-32 的一种隧道结 10。这种隧道结 10 的构形使来自具有强极化的铁磁晶粒区域的自旋隧道效应最强，而即使在晶粒边界处的缺陷散射效应最弱。分界层 30-32 增强了隧道结 10 中靠近与隔离层 14 的分界面的铁磁层的磁极化特性。



ISSN 1008-4274

1、用于形成隧道结(10)的一种方法,该方法包括以下步骤:

形成一第一铁磁层(12),该铁磁层上表面的构形中包括一组拱曲区域(20,21)和一组介于所说拱曲区域之间的低凹区域(22);

5 在所说第一铁磁层之上形成一隔离层(14),所说隔离层(14)的上表面基本是平坦的,从而使得隧道结(10)中在所说第一铁磁层(12)与一个第二铁磁层(16)之间的电子迁移路径在拱曲区域(20,21)短于在低凹区域(22)。

2、如权利要求1所述的方法,其特征在于形成一第一铁磁层(12)的步骤包括在所说第一铁磁层之下形成一层或多层材料层的步骤,其中多层材料的厚度是经过选择的,以便在形成所说第一铁磁层时能够形成所说拱曲区域(20,21)。

3、如权利要求2所述的方法,其特征在于所说材料层包括使所说第一铁磁层(12)中的磁化方向固定的层。

15 4、如权利要求2所述的方法,其特征在于所说其间低凹区域(22)对应于所说第一铁磁层(12)的多晶结构的晶粒边界。

5、如权利要求2所述的方法,其特征在于所说材料层包括一对失配的籽晶层(40,42)。

6、如权利要求1所述的方法,其特征在于该方法还包括在隔离层(14)与所说第一铁磁层(12)之间的分界处形成一分界层(30)的步骤。

7、如权利要求6所述的方法,其特征在于该方法还包括在隔离层(14)与所说第二铁磁层(16)之间的分界处形成一分界层(32)的步骤。

25 8、如权利要求7所述的方法,其特征在于所说分界层(30,32)是铁磁层,增强在与所说隔离层(14)分界处附近的所说第一和第二铁磁层(12、16)的磁极化特性。

9、一种隧道结(10),其包括:

30 第一铁磁层(12),其上表面构形包括一组拱曲区域(20,21)和一组位于其间的低凹区域(22);

位于所说第一铁磁层(12)之上的一隔离层(14),其中所说隔离层

(14) 的上表面基本是平坦的, 从而使得隧道结 (10) 中从所说第一铁磁层 (12) 至一个第二铁磁层 (16) 之间的电子迁移路径在拱曲区域 (20, 21) 短于在低凹区域 (22)。

5 10、如权利要求 9 所述的隧道结 (10), 其特征在于它还包括位于所说第一铁磁层 (12) 之下的一层或多层材料层, 其中所说材料层的厚度是经过选择的, 以便在形成所说第一铁磁层 (12) 的过程中能够形成所说拱曲区域 (20, 21)。

11、如权利要求 10 所述的隧道结 (10), 其特征在于所说材料层包括使所说第一铁磁层 (12) 中的磁化方向固定的层。

10 12、如权利要求 10 所述的隧道结 (10), 其特征在于所说其间低凹区域 (22) 对应于所说第一铁磁层 (12) 的多晶结构中晶粒边界。

13、如权利要求 10 所述的隧道结 (10), 其特征在于所说材料层包括一对失配的籽晶层 (40, 42)。

15 14、如权利要求 9 所述的隧道结 (10), 其特征在于它还包括位于所说隔离层 (14) 与所说第一铁磁层 (12) 之间分界处的一分界层 (30)。

15、如权利要求 14 所述的隧道结 (10), 其特征在于它还包括位于所说隔离层 (14) 与所说第二铁磁层 (16) 之间分界处的一分界层 (32)。

20 16、如权利要求 15 所述的隧道结 (10), 其特征在于所说分界层 (30, 32) 是铁磁层, 增强靠近与所说隔离层 (14) 分界处的第一和第二铁磁层 (12, 16) 的磁极化特性。

17、一种隧道结 (10), 它包括:

第一铁磁层 (12);

隔离层 (14);

25 位于所说隔离层 (14) 与所说第一铁磁层 (12) 之间的分界层 (30), 该分界层是经过选择的, 以增强靠近所说隔离层 (14) 和所说第一铁磁层 (12) 之间的一分界处的第一铁磁层 (12) 的磁极化特性, 其中分界层 (30) 是铁磁材料。

18、如权利要求 17 所述的隧道结 (10), 它还包括:

第二铁磁层 (16);

30 位于所说隔离层 (14) 和所说第二铁磁层 (16) 之间的分界层 (32), 该分界层是经过选择的, 以增强靠近所说隔离层 (14) 和所说第二铁磁层 (16) 之间的一分界处的第二铁磁层 (16) 的磁极化特性, 其中分界

层(32)是铁磁材料。

19、如权利要求18所述的隧道结(10)，其特征在于所说分界面(30, 32)分别是厚度小于4 纳米的铁磁材料层。

20、用于形成一个隧道结(10)的一种方法，该方法包括以下步骤：
5 形成一第一铁磁层(12)；

在所说第一铁磁层(12)之上形成一第一分界面(30)，其中第一分界面(30)是铁磁材料；

在所说第一分界面(30)之上形成一隔离层(14)，其中所说第一分界面(30)增强了靠近所说第一铁磁层(12)与所说隔离层(14)之间
10 的一分界面的第一铁磁层(12)的磁极化特性。

21、如权利要求20所述的方法，其特征在于它还包括以下步骤：

在所说隔离层(14)之上形成一第二分界面(32)；

在所说第二分界面(32)上形成一第二铁磁层(16)，其中所说第二分界面增强了靠近所说隔离层(14)与所说第二铁磁层(16)之间的一分界面的第二铁磁层(16)的磁极化特性，其中第二分界面(32)是铁
15 磁材料。

22、如权利要求21所述的方法，其特征在于形成所说第一和第二分界面(30, 32)的步骤分别包括形成厚度小于4 纳米的铁磁材料层的步骤。

具有增大磁阻的铁磁隧道结

技术领域

5 本发明涉及铁磁隧道结领域。更具体地说，本发明涉及具有增大磁阻的铁磁隧道结。

背景技术

铁磁隧道结可以应用于各种磁系统中。例如，铁磁隧道结可以用作磁通量传感器。这种磁通量传感器适用于一种记录头，该记录头用于探测
10 从一种磁介质如磁带或磁盘中发出的磁通量。此外，铁磁隧道结可以用作磁性存储器的磁性存储单元。

现有技术中的铁磁隧道结通常由一对铁磁层构成，其间由一层薄的隔离层分开。一般来说，施加在铁磁层上的偏置电压会引起电子通过隔离层在两个铁磁层之间迁移。这种引起电子通过隔离层迁移的现象可以被
15 称为量子力学隧道效应。

一般来说，铁磁隧道结的电阻根据铁磁层中磁矩相对取向而变化。当磁化的相对取向平行时，隧道结通常处于低电阻状态。相反地，当相对取向反平行时，隧道结通常处于高电阻状态。

表征一个隧道结的有用度量物理量是其隧道效应磁阻 (TMR)。一个
20 隧道结的 TMR 可以定义为它的高电阻状态下的电阻减去它在低电阻状态下的电阻，再除以它在低电阻状态下的电阻。TMR 表示一个隧道结的高电阻与低电阻状态之间的变化率。

一般希望应用具有相对较高 TMR 的隧道结。例如，包含具有相对较高 TMR 的隧道结的磁性存储单元与包含具有相对较低 TMR 的隧道结的磁性
25 存储单元相比，在读操作过程中通常具有较高的信噪比。此外，包含具有相对较高 TMR 的隧道结的磁性记录头与包含具有较低 TMR 的隧道结的磁性记录头相比，一般具有较高的灵敏度。

发明内容

本申请公开了具有增大磁阻的铁磁隧道结。增大的磁阻是通过使隧道
30 结具有这样的构形而实现的，其构形使得具有强极化的铁磁晶粒区域的自旋隧道效应最大化，而使得晶粒边界处的缺陷散射效应最小化。这种隧道结构形包括具有多个拱曲区域和介于其间的多个低凹区域的第一铁

磁层和具有基本平坦的上表面的隔离层。第一铁磁层的多个拱曲区域与隔离层的平坦上表面结合形成了在第一铁磁层与一个第二磁层之间的一条电子迁移路径，所说第二磁层在拱曲区域之上的高度小于在低凹区域之上的高度。这种隧道结结构使得在晶粒边界，即低凹区域，产生的隧道电流最小，而使得拱曲区域的隧道电流增大。此外，增大的磁阻实现于具有薄的分界层的隧道结中，这种结构增强了在接近隧道结中隔离层的分界处的铁磁材料的磁极化特性。

从以下的详细描述中可以了解本发明其它的特征和优点。

附图说明

下面以具体实施例为例，并参照附图介绍本发明，在所说附图中：

图 1 表示具有增大其隧道磁阻 (TMR) 构形的一个隧道结；

图 2 表示具有增大其隧道磁阻 (TMR) 的构形与分界层组合结构的一个隧道结；

图 3 表示构成增大其 TMR 的一种隧道结构形的一系列处理步骤的一个实例；

图 4 表示具有增大其隧道磁阻 (TMR) 的分界层的一个隧道结。

具体实施方式

图 1 表示一个隧道结 10 的一个实施例，其具有增大其隧道磁阻 (TMR) 的一种构形。该实施例中的这种隧道结 10 包括一个铁磁层 12、一个隔离层 14、和一个铁磁层 16。

隧道结 10 在铁磁层 12 中具有一种拱曲构形，包括一组拱曲区域如拱曲区域 20, 21 和介于其间的低凹区域如低凹区域 22。低凹区域相当于铁磁层 12 的多晶晶格结构中的晶粒边界如拱曲区域 20, 21 之间的晶粒边界 15。拱曲区域 20, 21 如图所示具有拱曲直径 d 和拱曲高度 h 。隧道结 10 还具有隔离层 14 的上表面 18 的相对平坦的构形。

铁磁层 12 的拱曲构形 12 与隔离层 14 的相对平坦上表面 18 相结合，使拱曲区域 20, 21 比低凹区域 22 更靠近铁磁层 16。结果，从拱曲区域 20, 21 至铁磁层 16 的电子迁移路径基本短于从低凹区域 22 至铁磁层 16 的电子迁移路径。

因为通过隔离层 14 的电子迁移随路径的增长成指数减少，所以铁磁层 12 与 16 之间的电子迁移基本全部由拱曲区域 20, 21 贡献。低凹区域 22 对于电子迁移的贡献达到最小化，从而使得可能出现在铁磁层 12

多晶结构中的晶粒边界处的散射效应最小。

此外，由于在拱曲区域 20, 21 具有较高程度的结晶完整性，铁磁层 12 中的磁极化在拱曲区域 20, 21 可能强于低凹区域 22。隧道结 10 的构形使得铁磁层 12 的强极化部分对隧道电流产生贡献。

5 铁磁层 12 和 16 分别由一层磁膜如镍铁膜构成。在一个实施例中隔离层 14 为氧化铝。它是以这样的方式形成的，填充在低凹区域 22 中，并形成相对平坦的上表面 18。在一个实施例中，隔离层 14 是这样构成的，在铁磁层 12 上沉积一层铝，其填充在低凹区域 22 中，然后将其暴露于氧气等离子体中。

10 图 2 表示包括一对分界层 30 和 32 的隧道结 10 的一个实施例，所说结构进一步增大了其隧道磁阻 (TMR)。分界层 30 和 32 形成在铁磁层 12 和 16 与隔离层 14 之间的分界处。分界层 30 形成在铁磁层 12 与隔离层 14 之间，分界层 32 形成在隔离层 14 与铁磁层 16 之间。

15 分界层 30, 32 用于增强与隔离层 14 分界处的铁磁材料 12 和 16 的磁极化特性。分界层 30, 32 为铁磁材料层，例如镍、铁、钴、或这些元素的合金。

对于隧道结 10 的 TMR 值增大有贡献的拱曲区域 20, 21 可以用所示的两个尺度，拱曲直径 d 和拱曲高度 h (图 1 所示)，来描述。多晶膜的晶粒直径等于拱曲直径 d 。

20 可以应用本领域众所周知的用于控制晶粒直径的各种方法来控制拱曲直径 d 。这类方法的实例包括增加籽晶层、沉积后退火，以利于晶粒生长，和控制沉积条件，例如环境压力，膜生长速率、膜厚度、基片偏压、和基片温度。控制晶粒大小的这些因素中有许多对于拱曲高度 h 的控制也是有贡献的。

25 对于拱曲构形具有影响的另一个因素是各向异性的生长率。例如，如果铁磁层 12 中大部分晶粒的取向使得它们的结晶方向相对于基片法线方向是相同的，并且沿特定方向具有比其它方向更佳的生长率，则在中心部分生长的小平面或拱曲晶粒高于在晶粒边界处。

30 在薄膜中引入表面构形的另一种机制是通过应力，通过增加与晶格失配的籽晶层或调节沉积条件可以产生应力。对于建立拱曲构形来说，可取的是压缩应力。

图 3 表示增大隧道结 10 的 TMR 值的一系列处理步骤的一个实例。这

些步骤包括在隧道结 10 中形成拱曲构形，和插入强极化分界层。

隧道结 10 形成在一个基片 100 上，所说基片可以是氧化硅。以有利于在铁磁层 12 中形成拱曲结构的方式在基片 100 上沉积各种材料。

5 在一个实施例中，有利于在铁磁层 12 中形成拱曲构形的材料包括第一籽晶层 40、第二籽晶层 42、和反铁磁层 44。在该实施例中第一籽晶层 40 为例如钽 (Ta) 一类材料。第二籽晶层 42 可以是镍铁 (NiFe)。反铁磁材料 44 可以是铁锰 (FeMn)。在该实施例中，反铁磁层 44 形成一个磁化转换膜，它使铁磁层 12 中磁化方向固定。

10 隧道结 10 中的材料可以通过在压力为 5 毫托的氩气环境中溅射到基片 100 上进行沉积，基片保持为室温和地电位。在确定拱曲构形的直径 d 和高度 h 时膜片厚度是一个重要的参数。在一个实施例中，第一籽晶层 40 为 10 纳米厚，第二籽晶层 42 为 6 纳米厚，反铁磁层 44 为 10 纳米厚，铁磁层 12 为 12 纳米，从而在隔离层 14 以下多晶材料的累积厚度为 38 纳米。这个厚度足以在铁磁层 12 中产生拱曲构形。

15 然后在铁磁层 12 的拱曲构形之上沉积一层分界层 30。分界层 30 的形状与铁磁层 12 的构形一致。然后通过沉积铝而形成隔离层 14，所说铝填充在分界层 30 的低凹区域 22 中，并且具有平坦的上表面。其后的氧化步骤形成隔离层 14 的氧化铝。然后在镍铁铁磁层 16 之前形成分界层 32。在铁磁层 16 之上利用诸如钽一类材料形成顶层 46。

20 进一步增大隧道结 10 的 TMR 值的分界层 30，32 可以由镍、钴、或铁、或这些元素的合金构成。下表表示了隧道结 10 中一些分界层 30，32 示例性结构的作用。

分界层元素	分界层厚度	在 0.050 伏电压下测得的 TMR 值 (%)
镍	1 纳米	20.0
镍	0.5 纳米	24.2
无		29.5
铁	0.25 纳米	35.1

在另一个实施例中，在形成隔离层 14 之前的某一时间可以在铁磁层

12、反铁磁层 44、或籽晶层 40 和 42 上实施铁蚀刻步骤。实施铁蚀刻步骤的目的是优选地去除在晶粒边界如晶粒边界 15 附近蚀刻层的某些部分，从而生成低凹区域如低凹区域 22。这个蚀刻步骤形成了拱曲构形，这种构形与隔离层 14 的经过平整的上表面 18 共同使隧道结 10 的磁阻增大。

铁磁层 12 的构形对于隧道结 10 的 TMR 值的作用可以通过比较两种结构来表征，所说的两种结构中，一种是这里所述的拱曲构形，另一种是铁磁层 12 具有平坦的上表面。在两种情况下，铁磁层 12 为镍铁，隔离层 14 为通过对铝膜的等离子体氧化而形成的氧化铝，铁磁层 16 为镍铁。

参见图 3，制备出铁磁层 12 具有平坦上表面的比较样品，在该样品中反铁磁层 44 从原来位于层 42 与 12 之间移动到位于层 16 与 46 之间。在检测构形作用的这些样品中不包括分界面 30 和 32。在隔离层 14 两侧具有平坦分界面的样品的 TMR 平均值为 23.6%，具有这里所述拱曲构形的样品的 TMR 平均值为 29.5%。对于分界面平面性的分析是利用高分辨率透射电子显微镜对横剖的样品进行的。表面平坦样品的拱曲高度 h 小于 0.6 纳米，而表面粗糙的样品的拱曲高度大约为 2.1 纳米。

图 4 表示具有平坦构形的一个隧道结 50，它包括一对分界面 60 和 62，它们使其 TMR 值增大。隧道结 50 包括一层铁磁层 52、一层隔离层 54、和一层铁磁层 56，它们可以形成在一个基片上，或者形成在一层或多层插入材料上。铁磁层 52 具有基本平坦的上表面，而不是拱形构形。

分界面 60 和 62 为铁磁材料薄层，这些分界面用于增强与隔离层 54 的分界面附近的铁磁层 52 和 56 的磁极化特性。在一个实施例中，分界面 60 和 62 为厚度小于 4 纳米的薄层。分界面 60 和 62 可以是镍、铁、钴、或这些元素的合金。

以上对于本发明详细描述的目的只是为了进行说明，而不是穷举或将本发明限制为所公开的这些具体实例。所以，本发明的范围仅由所附的权利要求书限定。

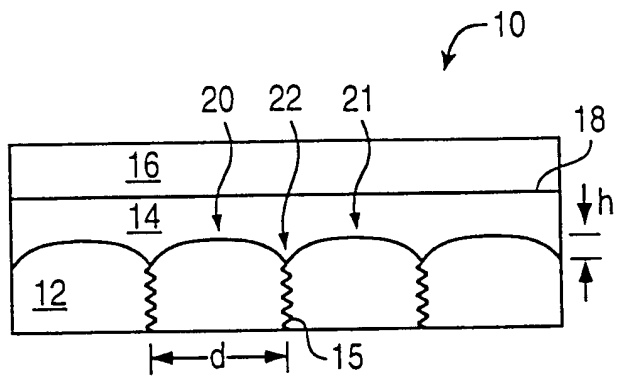


图 1

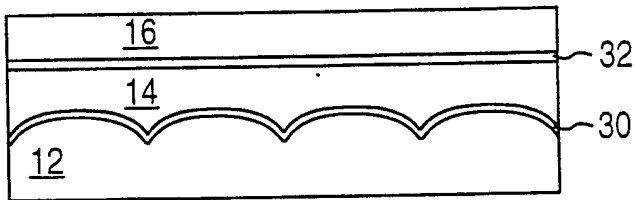


图 2

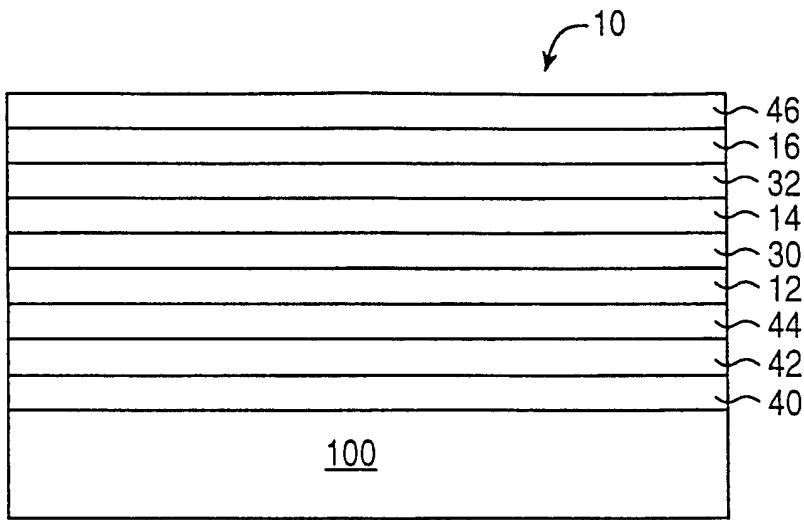


图 3

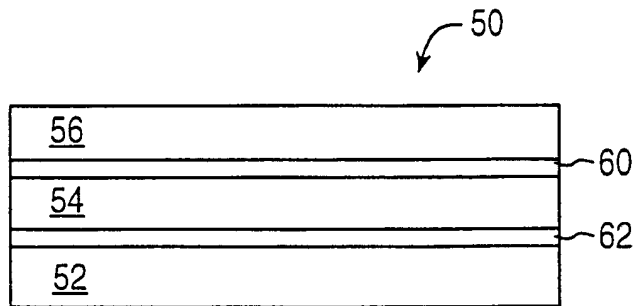


图 4