

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580023937.X

[51] Int. Cl.

H01L 29/76 (2006.01)
H01L 31/113 (2006.01)
H01L 29/94 (2006.01)
H01L 31/119 (2006.01)
H01L 31/062 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 8 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 100533763C

[22] 申请日 2005.6.16

[21] 申请号 200580023937.X

[30] 优先权

[32] 2004.7.26 [33] US [31] 10/899,610

[86] 国际申请 PCT/US2005/021311 2005.6.16

[87] 国际公布 WO2006/023018 英 2006.3.2

[85] 进入国家阶段日期 2007.1.16

[73] 专利权人 爱沃斯宾技术公司

地址 美国亚利桑那州

[72] 发明人 孙继军 雷努·W·戴夫

乔恩·M·斯劳特 约翰·阿克曼

[56] 参考文献

JP2003-304010A 2003.10.24

US6713801B1 2004.3.30

US2004/0085827A1 2004.5.6

US2004/0041183A1 2004.3.4

US2003/0197211A1 2003.10.23

审查员 王琳

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

代理人 穆德骏 黄启行

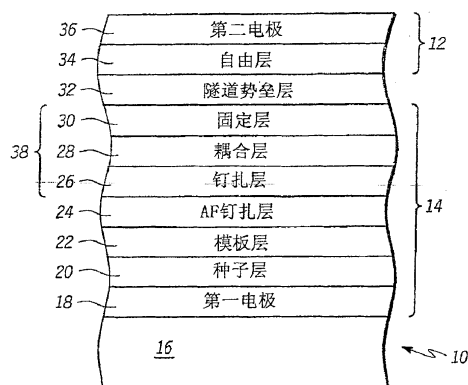
权利要求书 3 页 说明书 11 页 附图 2 页

[54] 发明名称

磁隧道结元件结构和用于制造该结构的方法

[57] 摘要

提供了磁隧道结 (MTJ) 元件结构和用于制造 MTJ 元件结构的方法。MTJ 元件结构 (10) 可以包括晶体钉扎层 (26)、非晶体固定层 (30) 以及置于晶体钉扎层和非晶体固定层之间的耦合层 (28)。非晶体固定层 (30) 与晶体钉扎层 (26) 反铁磁耦合。MTJ 元件进一步包括自由层 (34) 以及置于非晶体固定层和自由层之间的隧道势垒层 (32)。另一 MTJ 元件结构 (60) 可以包括钉扎层 (26)、固定层 (30) 以及置于其之间的非磁耦合层 (28)。隧道势垒层 (32) 被置于固定层 (30) 和自由层 (34) 之间。界面层 (62) 被安置为与隧道势垒层 (32) 和非晶体材料层 (30) 相邻。第一界面层 (62) 包括具有高于非晶体材料 (30) 的自旋极化的材料。



1. 一种磁隧道结元件，包括：
合成反铁磁钉扎结构，包括：
晶体钉扎铁磁层；
非晶体固定铁磁层；和
非磁耦合层，其置于晶体钉扎铁磁层和非晶体固定铁磁层之间，其中非晶体固定铁磁层与晶体钉扎铁磁层反铁磁耦合；
第一电极叠层，其包括自由铁磁层；和
隧道势垒层，其置于晶体钉扎铁磁层和第一电极叠层之间。
2. 权利要求 1 的磁隧道结元件，进一步包括反铁磁钉扎层，其置于晶体钉扎铁磁层附近，其中晶体钉扎铁磁层同反铁磁钉扎层交换耦合。
3. 权利要求 1 的磁隧道结元件，非晶体固定铁磁层包括具有化学式 CoFeX 的材料，其中 X 包括下列中的至少一种材料：硼、钽、碳和铪。
4. 权利要求 1 的磁隧道结元件，自由铁磁层包括非晶体材料或晶体材料中的一个。
5. 权利要求 1 的磁隧道结元件，自由铁磁层包括合成反铁磁结构，其具有两个铁磁层和置于两个铁磁层之间的非磁层。
6. 权利要求 1 的磁隧道结元件，第一电极叠层进一步包括电极层，其置于自由铁磁层附近。
7. 权利要求 6 的磁隧道结元件，晶体钉扎铁磁层包括具有化学式 CoFeX 的材料，其中 X 包括下列中的至少一种材料：硼、钽、铪和碳。

8. 权利要求 1 的磁隧道结元件，非磁耦合层选自下列材料：钉、镱、钷、铈及其任何组合。

9. 一种磁隧道结元件，包括：

合成反铁磁钉扎结构，包括：

晶体钉扎铁磁层；

非晶体固定铁磁层；和

非磁耦合层，其置于钉扎铁磁层和固定铁磁层之间，其中固定铁磁层与钉扎铁磁层反铁磁耦合；

电极叠层，其包括自由铁磁层；

隧道势垒层，其置于晶体钉扎铁磁层和电极叠层之间；和

第一界面层，其置于自由铁磁层和非晶体固定铁磁层中的一层与隧道势垒层之间，

其中第一界面层包括的材料的自旋极化高于所述的自由铁磁层和非晶体固定铁磁层中的一层的自旋极化。

10. 权利要求 9 的磁隧道结元件，所述的自由铁磁层和非晶体固定铁磁层中的一层包括具有化学式 CoFeX 的材料，其中 X 包括下列中的至少一种材料：硼、铝、铅和碳，并且，第一界面层包括 CoFe 。

11. 权利要求 10 的磁隧道结元件，其中自由铁磁层包括非晶体材料，并且进一步包括第二界面层，其置于自由铁磁层和非晶体固定铁磁层中的另一层与隧道势垒层之间，第二界面层包括的材料的自旋极化高于自由铁磁层的自旋极化。

12. 权利要求 11 的磁隧道结元件，其中自由铁磁层包括合成反铁磁结构，其具有由非磁耦合层分隔的两个铁磁材料层。

13. 权利要求 9 的磁隧道结元件，自由铁磁层包括非晶体材料层，

其中第一界面层置于隧道势垒层和自由铁磁层之间，并且其中第一界面层包括的材料的自旋极化高于自由铁磁层的自旋极化。

14. 权利要求 13 的磁隧道结元件，其中自由铁磁层包括合成反铁磁结构，其具有由非磁耦合层分隔的两个铁磁材料层。

磁隧道结元件结构和用于制造该结构的方法

技术领域

本发明通常涉及磁电子学器件，更具体地，涉及磁隧道结元件结构和用于制造磁隧道结元件结构的方法。

背景技术

磁电子学器件、自旋电子器件和自旋电子学器件是关于使用主要由电子自旋引起的效应的器件的同义词。在许多器件中使用了磁电子学效应，并且其提供了非易失的、可靠的、抗辐射的和高密度的数据存储和调取。许多磁电子学信息器件包括，但不限于，磁随机存取存储器（MRAM），磁传感器和用于盘片驱动器的读/写头。

典型地，磁电子学器件，诸如磁存储器元件，具有包括由至少一个非磁层分隔的多个铁磁层的结构。在磁存储器元件中，信息作为磁层中的磁化矢量的方向而被存储。例如，一个磁层中的磁化矢量是磁固定或钉扎的，而另一磁层的磁化方向自由地在相同和相反的方向之间切换，其分别被称为“平行”和“逆平行”状态。响应平行和逆平行状态，磁存储器元件呈现出两个不同的电阻。当两个磁层的磁化矢量基本上分别指向相同和相反的方向时，电阻具有最小和最大值。因此，检测电阻变化允许器件，诸如 MRAM 器件，提供存储在磁存储器元件中的信息。最小和最大电阻值之间的差除以最小电阻，被称为磁致电阻比（MR）。

一种类型的磁存储器元件，磁隧道结（MTJ）元件，包括固定的铁磁层，其具有相对于外部磁场固定的磁化方向，和自由的铁磁层，其具有相对外部磁场自由旋转的磁化方向。固定层和自由层由绝缘隧道势垒层分隔，其依赖于自旋极化电子隧穿通过自由和固定铁磁层之

间的隧道势垒层的现象。隧穿现象依赖于电子自旋，使得 MTJ 元件的磁响应成为自由和固定铁磁层之间的传导电子的相对取向和自旋极化的函数。

由于 MR 强烈依赖于隧道势垒质量，因此隧道势垒层对于 MTJ 元件的性能是重要的。特别地，隧道势垒的表面平滑度在制造高质量的 MTJ 器件中具有关键的作用。典型地，隧道势垒的表面粗糙导致了由流过势垒的非隧道电流或者底部铁磁层中的高点过氧化引起的 MR 的减小，其因此减小了可靠性并且由此减小了 MTJ 器件制造中的生产量。而且，由于下代的磁电子学器件，诸如 MRAM，将成比例缩小至较小的尺寸，因此将需要较薄的隧道势垒层。因此，当隧道势垒层在未来的器件中变得更薄时，表面平滑度将变得更加重要。

因此，理想的是，提供具有表面粗糙度减小的隧道势垒层的 MTJ 元件。此外，理想的是，提供一种用于制造具有改善的电气属性的 MTJ 元件的工艺。而且，通过后面的本发明的详细描述和所附权利要求，结合附图和本发明的该背景，本发明的其他的理想特征和特性将变得显而易见。

发明内容

根据本发明一个方面，提供一种磁隧道结元件，包括：

合成反铁磁钉扎结构，包括：晶体钉扎铁磁层；非晶体固定铁磁层；和非磁耦合层，其置于晶体钉扎铁磁层和非晶体固定铁磁层之间，其中非晶体固定铁磁层与晶体钉扎铁磁层反铁磁耦合；

第一电极叠层，其包括自由铁磁层；和

隧道势垒层，其置于晶体钉扎铁磁层和第一电极叠层之间。

根据本发明另一个方面，提供一种磁隧道结元件，包括：

合成反铁磁钉扎结构，包括：晶体钉扎铁磁层；非晶体固定铁磁层；和非磁耦合层，其置于钉扎铁磁层和固定铁磁层之间，其中固定

铁磁层与钉扎铁磁层反铁磁耦合；

电极叠层，其包括自由铁磁层；

隧道势垒层，其置于晶体钉扎铁磁层和第一电极叠层之间；和

第一界面层，其置于自由铁磁层和非晶体固定铁磁层中的一层与隧道势垒层之间，

其中第一界面层包括的材料的自旋极化高于所述的自由铁磁层和非晶体固定铁磁层中的一层的自旋极化。

附图说明

下文将结合附图描述本发明，在附图中同样的数字表示同样的元件，并且

图 1 是根据本发明的一个示例性实施例的磁隧道结元件结构的截面视图；

图 2 是根据本发明的另一示例性实施例的磁隧道结元件结构的截面视图；以及

图 3 是用于制造诸如图 1 或 2 的磁隧道结元件结构的根据本发明的示例性实施例的工艺的流程图。

具体实施方式

下面的本发明的详细描述在本质上仅是示例性的，并非限制本发明或者本发明的应用和使用。而且，不存在由本发明的前述背景或者本发明的下面的详细描述所带来的限制。

参考图 1，根据本发明的一个示例性实施例的 MTJ 元件 10 包括基板 16、第一电极多层叠层 14、第二电极多层叠层 12、和置于第一电极多层叠层 14 和第二电极多层叠层 12 之间的绝缘隧道势垒层 32。基板 16 可以包括任何适当的绝缘材料，诸如例如，介电材料。第一电极多层叠层 14 和第二电极多层叠层 12 包括铁磁层，如下文更加详细描述。隧道势垒层 32 优选地由介电材料形成，并且更优选地由氧化铝 (AlOx) 形成。隧道势垒层 32 可以具有任何适当的厚度，但是优选地

具有约 7~约 15 埃的厚度。第一多层叠层 14、第二多层叠层 12 和隧道势垒层 32 的层可以通过任何适当的淀积工艺形成，诸如例如，粒子束淀积、物理气相淀积（PVD）、分子束外延（MBE）等等。

第一电极多层叠层 14 包括第一或者基础电极层 18，其是在基板 16 上形成的。第一电极层 18 可以由单一的传导材料或层组成，或者可替换地，第一电极层 18 可以是具有不止一个传导材料或层的多层叠层。在任一情况中，第一电极层 18 提供同第一电极多层叠层 14 的层的电气接触。

在本发明的一个实施例中，第一电极多层叠层 14 包括种子层 20，其淀积在第一电极层 18 上面。种子层 20 可由任何适当的材料形成，其适用于对反铁磁 AF 钉扎层 24 的后继形成接种，如下文更加详细描述。适用于形成种子层 20 的材料的示例包括，例如，钽（Ta）或者氮化钽（ TaN_x ），其制造方法是，反应溅射或者相对薄的钽层（优选地小于约 100 埃，并且最优选地小于约 50 埃）的等离子体或粒子束氮化。种子层 20 可以是分立于第一电极层 18 的层，或者可以包括与第一电极层 18 相同的层。第一电极多层叠层 14 还可以包括任选的位于种子层 20 上面的模板层 22。模板层 22 可以包括镍铁（NiFe）合金、镍铁钴（NiFeCo）合金、钌（Ru）、钽（Ta）、铝（Al）、或者适用于协助反铁磁钉扎层 24 的生长的任何其他材料。反铁磁钉扎层 24 被置于种子层 20 和/或模板层 22 上面。反铁磁钉扎层 24 可由任何适当的反铁磁材料形成，但是优选地包括锰合金，其具有一般的组分 MnX ，其中 X 优选地是选自下列组中的一种或多种材料：铂（Pt）、钯（Pd）、镍（Ni）、铱（Ir）、锇（Os）、钌（Ru）或者铁（Fe）。

钉扎铁磁层 26 形成在下面的反铁磁钉扎层 24 上面，并且与之交换耦合，其钉扎一个方向中的钉扎铁磁层 26 的磁矩。钉扎铁磁层 26 在结构上是晶体，并且可由例如，钴铁合金制成，诸如 CoFe 或者 $CoFeX$ ，其中 X 可以包括硼（B）、钽（Ta）、铪（Hf）、或者碳（C）。非晶

体固定铁磁层 30 在金属耦合层 28 上面形成，金属耦合层 28 位于钉扎铁磁层 26 上面。如此处使用的，术语“非晶体”意指其中不存在长程晶序的材料，诸如使用正常的 x 射线衍射测量引出可易于辨识的峰值的材料，或者使用电子衍射测量引出可辨识式样的图案的材料。在本发明的一个实施例中，非晶体固定铁磁层 30 可由钴（Co）、铁（Fe）和硼（B）的合金形成。例如，非晶体固定层 30 可由包括 71.2%的钴原子、8.8%的铁原子和 20%的硼原子的合金形成。该组合物是其中添加硼的 CoFe 合金，并且可被表示为 $(\text{Co}_{89}\text{Fe}_{11})_{80}\text{B}_{20}$ 。然而，应当认识到，任何其他的适当的合金组合物，诸如 CoFeX（其中 X 可以是钽、铅、硼、碳等中的一个或多个），或者包括钴和/或铁的合金，可用于形成非晶体固定层 30。金属耦合层 28 可由任何适当的材料形成，其用于反铁磁地耦合到晶体钉扎层 26 和非晶体固定层 30，诸如钉、铼、钨、铈或其合金，但是优选地由钉形成。金属耦合层 28、晶体钉扎层 26 和非晶体固定层 30 产生了合成反铁磁（SAF）结构 38。通过金属耦合层 28 提供的 SAF 结构的反铁磁耦合使得 MTJ 元件 10 在施加的磁场中更加稳定。此外，通过改变铁磁层 26 和 30 的厚度，可以使针对自由层的静磁耦合偏移，并且可以磁滞回线集中。

由于非晶体结构的本质，即，非晶体结构基本上不具有晶粒边界，因此相比于在晶体或者多晶体固定层上生长隧道势垒层 32 的情况，SAF 结构 38 的非晶体固定层 30 有助于具有更平滑的表面的隧道势垒层 32 的生长。隧道势垒层的更平滑的表面改善了 MTJ 元件 10 的磁致电阻。此外，SAF 结构 38 的晶体钉扎层 26 导致了足够的反铁磁耦合强度，由此 SAF 结构在外部磁场中是稳定的。因此，非晶体固定层和晶体钉扎层用于改善 MTJ 元件 10 的性能、可靠性和可制造性。

第二电极多层叠层 12 包括自由铁磁层 34 和保护性第二电极层 36。第二电极层 36 可由任何适当的材料形成，诸如钽。在本发明的优选实施例中，第二电极层 36 可以包括不止一个材料层，诸如例如，钽层上面的氮化钽层。自由铁磁层 34 的磁矩基本上不会通过交换耦合固定或

钉扎，并且在施加的磁场存在的情况下基本上可自由旋转。自由层 34 可以具有非晶体或者晶体结构，并且可由任何适当的合金组合物形成，诸如 CoFeX（其中 X 可以是硼、钽、铅、碳等），或者包括镍或铁的合金，或者包括钴、镍和铁的合金。自由层 34 可以包括一个材料层或者可以包括多个层。例如，在本发明的一个实施例中，自由层 34 可以包括单一的 NiFeCo 层。在本发明的另一实施例中，自由层 34 可以是 SAF 结构，其包括例如，两个诸如 NiFe 的铁磁材料层，其由诸如钉、铈、钕、铽或其合金等的传导材料的耦合层分隔。

应当认识到，尽管图 1 和上文的描述公开了一种 MTJ 元件 10，其具有位于 AF 钉扎层上面的晶体钉扎层、位于晶体钉扎层上面的金属耦合层、位于耦合层上面的非晶体固定层、位于固定层上面的隧道势垒层、和位于隧道势垒层上面的自由层或者自由 SAF 结构，但是本发明不限于此。而且，本发明还可用于具有倒转或翻转结构的 MTJ 元件，其具有位于自由层或者自由 SAF 结构上面的隧道势垒层、位于隧道势垒层上面的非晶体层、位于非晶体固定层上面的耦合层、位于金属耦合层上面的晶体钉扎层、和位于钉扎层上面的 AF 钉扎层。

图 2 说明了根据本发明的另一实施例的 MTJ 元件 60。MTJ 元件 60 与图 1 的 MTJ 元件 10 相似，其中同样的参考数字表示同样的或者相似的层。MTJ 元件 60 包括基板 16、第一电极多层叠层 14、第二电极多层叠层 12、和置于第一电极多层叠层 14 和第二电极多层叠层 12 之间的绝缘隧道势垒层 32。如上文参考图 1 针对 MTJ 元件 10 描述的，第一电极叠层 14 可以包括第一电极 18、种子层 20、模板层 22、反铁磁钉扎层 24、晶体铁磁钉扎层 26、耦合层 28 和非晶体铁磁固定层 30。同样地，MTJ 元件 60 的第二电极多层叠层 12 可以包括第二电极 36 和自由层 34，其可以包括一个铁磁层或者可以包括诸如 SAF 结构的多个层。

在本发明的一个实施例中，MTJ 元件 60 进一步包括界面层 62，

其是在非晶体固定层 30 和隧道势垒层 32 之间形成的。在本发明的另一实施例中，当自由层 34 是非晶体材料的一个层或多个层时，MTJ 元件可以包括界面层 64，其是在隧道势垒层 32 和非晶体自由层 34 之间形成的。在本发明的另一实施例中，MTJ 元件 60 可以包括界面层 62 和界面层 64。由于 MTJ 元件 60 的磁致电阻与同隧道势垒层 32 的任一表面相邻的铁磁层的自旋极化的积成比例，因此界面层 62 和/或界面层 64 可用于提高 MTJ 元件 60 的磁致电阻。因此，界面层 62 和 64 可以是非晶体、晶体或者多晶体的，并且可由“高自旋极化材料”形成。如此处使用的，术语“高自旋极化材料”意指具有高于其相邻的非晶体铁磁材料的自旋极化的自旋极化的材料。因此，界面层 62 可由具有高于非晶体固定层 30 的自旋极化的自旋极化的材料形成。同样地，界面层 64 可由具有高于非晶体自由层 34 的自旋极化的自旋极化的材料形成。例如，在本发明的一个实施例中，非晶体固定层 30 可以包括 CoFeB，而界面层 62 可以包括 CoFe。相似地，非晶体自由层 34 可以包括 CoFeB，而界面层 64 可以包括 CoFe。然而，应当认识到，界面层 62 和 64 还可以包括 CoFeX，其中 X 可以包括硼、钽、铅、碳等，并且 X 的原子数小于 5%。可替换地，界面层 62 和 64 可以包括其他的含钴合金或者其他的含铁合金。界面层 62 或者界面层 64 或者此两者的使用可以取决于多种因素，诸如例如，MTJ 元件的所需的磁属性、MTJ 元件的所需的电气属性、MTJ 元件的预期应用等。

界面层 62 和 64 是足够薄的，使得它们不会抵消由于固定层 30 和/或自由层 34 的非晶体本质引起的 MTJ 器件性能的改善。在本发明的一个实施例中，界面层 62 和 64 具有不大于 15 埃的厚度。优选地、界面层 62 和 64 具有不大于 10 埃的厚度，并且更优选地，具有不大于 5 埃的厚度。而且，尽管固定层 30 和/或自由层 34 的非晶体本质可以改善 MTJ 元件 60 的电气属性，诸如磁致电阻的量值、磁致电阻的稳定性、反铁磁耦合强度（由饱和场（ H_{sat} ）确定）等，但是 MTJ 元件 60 中的界面层 62 和/或界面层 64 的存在也可以通过增加 MTJ 元件的磁致电阻改善电气属性。

图 3 是根据本发明的示例性实施例，用于制造诸如图 1 和 2 中说明的结构的半导体结构的工艺 100 的流程图。工艺 100 可以开始于提供基板，诸如图 1 和 2 的基板 16（步骤 102），并且在基板 16 上面形成第一电极层 18（步骤 104）。如上文所述，第一电极层 18 可以包括金属或其他传导材料的一个或多个层，其提供了同后继形成的层的电气接触。种子层 20 可以淀积在第一电极层 18 上面（步骤 106）。种子层 20 可以是分立于第一电极层 18 的层，或者可替换地，种子层 20 可以包括与第一电极层 18 相同的层。然后可以在种子层 20 和/或第一电极层 18 上面制造任选的模板层 22（步骤 108）。

工艺 100 进一步包括，将反铁磁钉扎层 24 置于任选的模板层 22 和/或种子层 20 和/或第一电极层 18 上面（步骤 110），并且在反铁磁钉扎层 24 上面形成晶体钉扎铁磁层 26，由此钉扎铁磁层 26 与反铁磁钉扎层 24 交换耦合（步骤 112）。然后将金属耦合层 28 置于钉扎铁磁层 26 上面（步骤 114）。如上文所描述的，金属耦合层 28 可被形成为具有任何适当的厚度，并且可由任何适当的材料形成，其用于使晶体钉扎层 26 同上面的非晶体固定层 30 反铁磁耦合。适用于形成金属耦合层 28 的材料可以包括钉、钡、铈、镧等，及其合金。优选地，金属耦合层 28 由钉形成。

根据本发明的一个实施例，然后使金属耦合层 28 暴露于表面改性剂，其使金属耦合层 28 的暴露表面改性（步骤 116）。如此处使用的，术语“表面改性剂”意指使金属耦合层 28 的表面改性的任何适当的材料，由此在金属耦合层 28 上面后继形成的固定层 30 呈现出相比于未使金属耦合层改性的情况的更加平滑的表面，在该表面上将形成隧道势垒层。因此，表面改性剂导致了 MTJ 元件的 MR 的增加。表面改性剂还导致了改善的击穿电压和 MTJ 元件中的较少的隧穿热点，因此增加了产量并且使 MTJ 元件阵列的比特电阻分布变窄。

在本发明的一个实施例中，表面改性剂包括氧。在这一点上，可以使金属耦合层 28 暴露于室温下的剂量（压力乘以暴露时间）为约 10^{-5} Torr-s~约 10^{-1} Torr-s 的氧环境。使金属耦合层 28 暴露于氧环境一定的时间，其是足够长的，以允许氧将金属耦合层 28 的暴露表面改性，但是其也是足够短的，由此金属耦合层 28 提供的反铁磁耦合基本上不会减少。在本发明的一个实施例中，使金属耦合层暴露于氧环境一定的时间，其是足够短的，由此不允许氧淀积到可由标准的测量技术辨识的厚度。在本发明的优选实施例中，使金属耦合层 28 暴露于氧环境一定的时间周期，其允许在金属耦合层 28 的暴露表面上淀积不超过两个的氧单层。应当认识到，表面改性剂可以包括不同于氧或者除了氧以外的材料，诸如例如，空气、氩（Ar）/氧（O₂）混合物、或者氮（N₂）/氧（O₂）混合物。

在使金属耦合层 28 的暴露表面改性之后，可以在金属耦合层 28 上面淀积固定铁磁层（步骤 118）。在本发明的一个实施例中，固定铁磁层可由晶体铁磁材料形成，诸如例如，CoFe 或者任何其他适当的钴合金和/或铁合金。在本发明的另一更优选的实施例中，固定铁磁层可以是非晶体的，诸如上文参考图 1 和 2 描述的非晶体固定铁磁层。在这一点上，非晶体固定层可由非晶体铁磁合金形成，诸如 CoFeX，其中 X 可以是硼、碳、钽、钎等，并且可由其他的钴和/或铁的合金形成。

在本发明的另一实施例中，当固定层包括非晶体材料时，工艺 100 可以进一步包括，在固定层上面淀积第一界面层，诸如图 2 的界面层 62（步骤 120）。界面层 62 可由具有高于非晶体固定层 30 的自旋极化的自旋极化的材料形成。例如，固定层可以包括 CoFeB 的非晶体层，而第一界面层可以包括 CoFe。然而，在本发明的另一实施例中，第一界面层可以包括 CoFeX，其中 X 可以包括硼、钽、碳、钎等，并且 X 原子数小于 5%。在本发明的另一实施例中，第一界面层可以包括其他的含钴合金或者其他的含铁合金。

然后，可以在第一界面层和/或固定层上面形成绝缘的隧道势垒层，诸如图 1 和 2 的隧道势垒层 32（步骤 122）。可以使用用于形成隧道势垒层的半导体工业中已知的任何适当的绝缘材料形成该隧道势垒层。例如，隧道势垒层可以通过在第一界面层和/或固定层上面淀积铝层并且使该铝层氧化而形成，如本领域中公知的。

然后，可以在隧道势垒层上面形成自由铁磁层，诸如自由铁磁层 34（步骤 126）。如上文所述，该自由层可以具有非晶体或者晶体结构，并且可由任何适当的合金组合物形成，诸如 CoFeX （其中 X 可以是硼、碳、钽、钎等）、 NiFe 合金或者包括钴、铁和镍的其他合金。在本发明的另一任选实施例中，自由层可以是 SAF 结构，其包括例如，两个诸如 NiFe 的铁磁材料层，其由诸如钎、铌、钨、铈等或其合金的绝缘材料的金属耦合层分隔。

在本发明的另一可选实施例中，当自由层包括非晶体材料时，可以在形成非晶体自由铁磁层之前，在隧道势垒层上面淀积第二界面层，诸如界面层 64（步骤 124）。第二界面层可以包括具有高于自由层的自旋极化的自旋极化的材料。例如，自由层可以包括非晶体 CoFeB ，而第二界面层可以包括 CoFe 。然而，在本发明的另一实施例中，第二界面层可以包括 CoFeX ，其中 X 可以包括硼、钽、钎、碳等，并且 X 原子数小于 5%。在本发明的另一实施例中，第二界面层可以包括其他的含钴合金和/或其他的含铁合金。

在形成自由层之后，可以将第二电极层，诸如第二电极层 36 置于自由层上面（步骤 128）。如上文所述，第二电极层可由任何适当的传导材料形成，诸如钽。在本发明的优选实施例中，第二电极层可以包括不止一个材料层，诸如例如，钽层上面的氮化钽（ TaN_x ）层。

上文参考图 3 描述的工艺 100 的层的形成可以使用半导体工业中

已知的任何适当的传统淀积方法执行，诸如例如，离子束淀积、物理气相淀积（PVD）、分子束外延（MBE）等。而且，应当认识到，本发明的工艺不限于上文参考图 3 描述的步骤顺序。相反地，可以以倒转的顺序执行该步骤，以制造磁隧道结元件，其具有位于自由层或者自由层 SAF 结构上面的隧道势垒层、位于隧道势垒层上面的固定层、位于固定层上面的钉扎层。在这一点上，当自由层是如上文所述的 SAF 结构时，在形成第二电极之后，可以淀积自由 SAF 结构的第一铁磁层，随后淀积金属耦合层。然后将金属耦合层暴露于表面改性剂，其使金属耦合层的暴露表面改性。表面改性剂使金属耦合层的表面改性，由此在金属耦合层上面后继形成的第二铁磁层呈现出相比于未使金属耦合层改性的情况的更加平滑的表面，在该表面上将形成隧道势垒层。在使金属耦合层的表面改性之后，自由 SAF 层的第二铁磁层可以淀积在金属耦合层上面。然后该工艺可以继续形成隧道势垒层和固定 SAF 结构。应当认识到，在本发明的另一实施例中，固定 SAF 结构的金属耦合层和自由 SAF 结构的金属耦合层，在后继淀积上面的层之前，可以暴露于表面改性剂，以改善上面的层的物理质量。

尽管在本发明的前面的详细描述中已提出了至少一个示例性实施例，但是应当认识到，存在大量的变化方案。还应当认识到，示例性实施例仅是示例，目的不在于以任何方式限制本发明的范围、应用或设置。而且，前面的详细描述将向本领域的技术人员提供用于实现本发明的示例性实施例的传统的路线图，应当理解，在不偏离所附权利要求中阐述的本发明的范围的前提下，可以针对示例性实施例中描述的元件的功能和配置进行多种变化。

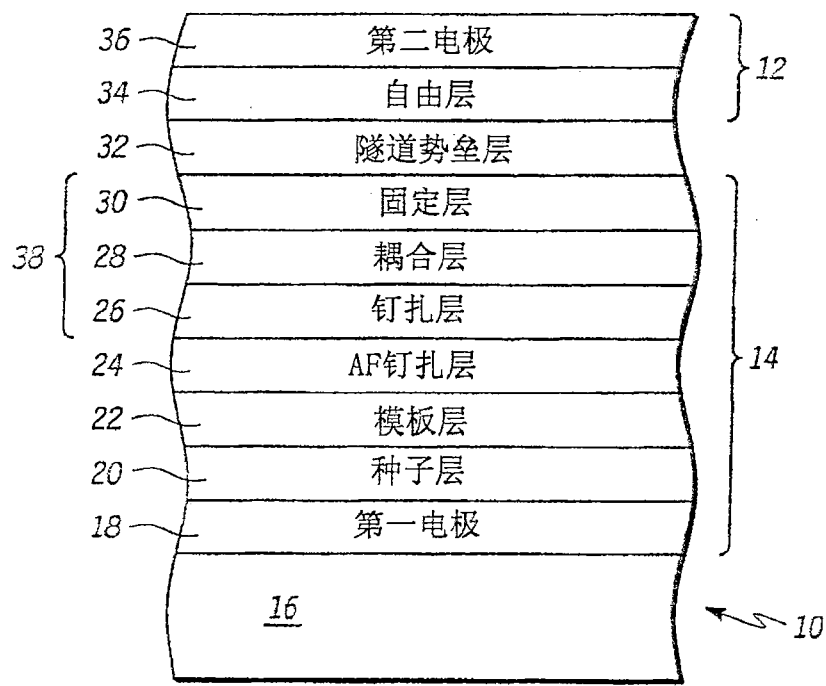


图1

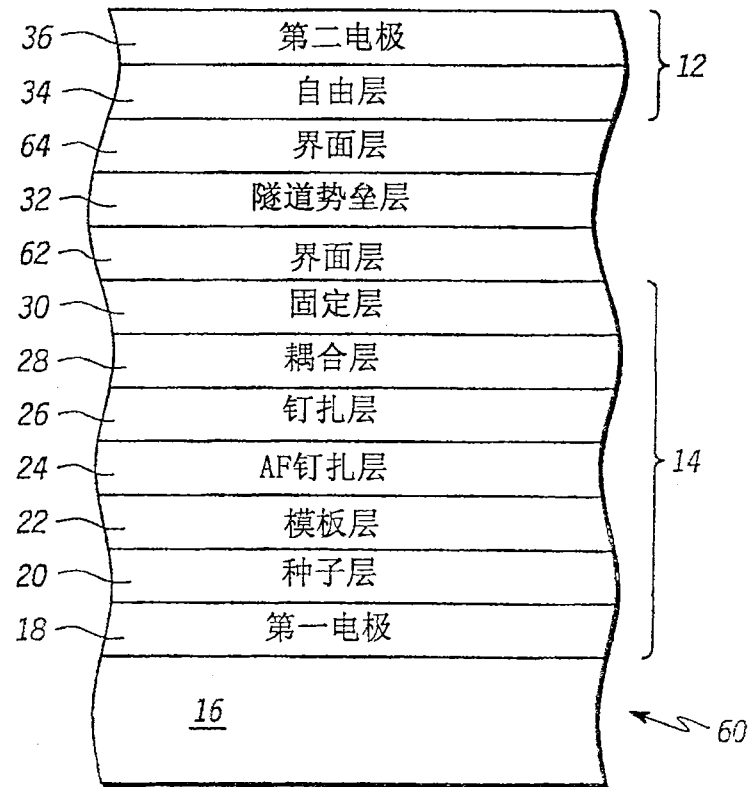


图2

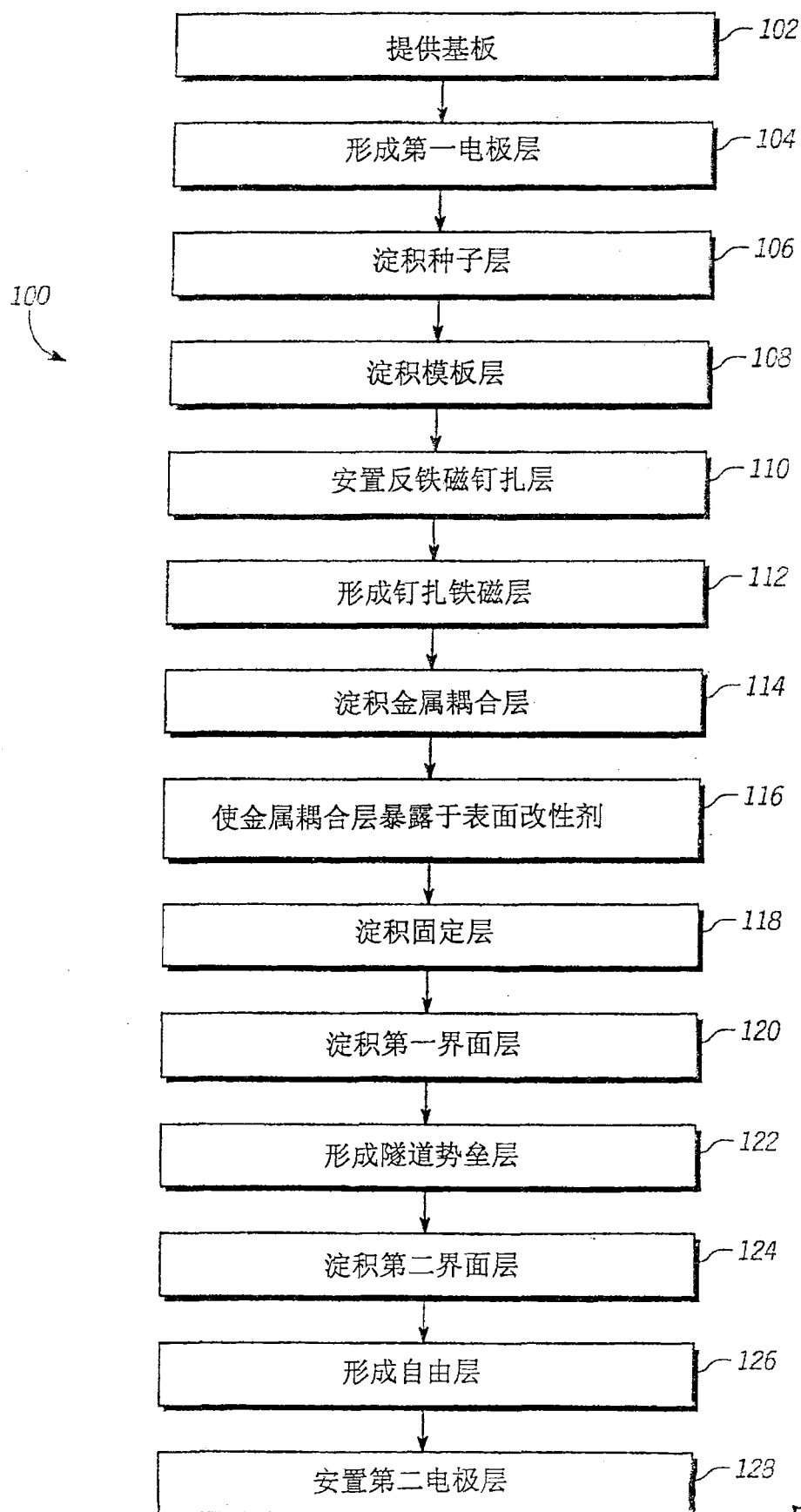


图3