

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 29/76 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480037446.6

[45] 授权公告日 2009 年 6 月 3 日

[11] 授权公告号 CN 100495723C

[22] 申请日 2004.11.4

[21] 申请号 200480037446.6

[30] 优先权

[32] 2003.12.18 [33] US [31] 10/740,338

[86] 国际申请 PCT/US2004/037058 2004.11.4

[87] 国际公布 WO2005/067472 英 2005.7.28

[85] 进入国家阶段日期 2006.6.15

[73] 专利权人 飞思卡尔半导体公司

地址 美国得克萨斯

[72] 发明人 斯里尼瓦斯·V·皮耶塔姆巴拉姆  
雷努·W·戴夫 乔恩·M·斯劳特  
孙继军

[56] 参考文献

CN1192589A 1998.9.9

US2002/0024780A1 2002.2.28

WO01/71735A1 2001.9.27

CN1316746A 2001.10.10

US2003/0072174A1 2003.4.17

US6518585B1 2003.2.11

US6469926B1 2002.10.22

EP0780912B1 2002.10.16

审查员 马志勇

[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

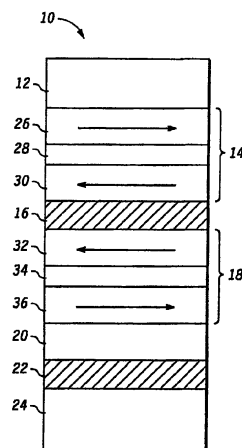
权利要求书 5 页 说明书 5 页 附图 1 页

[54] 发明名称

MRAM 技术中用于 MTJ 中的合成反铁磁结构  
及 MTJ 的形成方法

[57] 摘要

一种用于磁阻随机存取存储器 (MRAM) 的磁隧道结 (MTJ) (10)，具有自由层 (14)，该自由层是合成反铁磁 (SAF) 结构。该 SAF (14) 包括由耦合层 (28) 分隔的两个铁磁层 (26, 30)。耦合层 (28) 具有非磁性的基材料和改善热耐久性、SAF (14) 的耦合强度控制和磁阻比 (MR) 的其它材料。优选的基材料是钌，优选的其它材料是钽。为了增强这些优点，在钽和铁磁层之一之间的界面处增加钴 - 铁。另外，耦合层 (28) 甚至可具有更多的层 (38、40)，并且使用的材料可以变化。另外，耦合层 (28) 本身可为合金。



1. 一种磁隧道结，包括：  
第一电极和第二电极；  
所述第一电极与所述第二电极间的隧道阻挡；  
所述第一电极与所述隧道阻挡间的自由合成反铁磁；以及  
所述隧道阻挡与所述第二电极间的固定层；  
其中所述自由合成反铁磁包括：  
第一层和第二层，其中所述第一层和所述第二层是铁磁的；  
所述第一层和所述第二层间的第三层，其中所述第三层包括基材料，所述基材料反铁磁耦合所述第一层和所述第二层；以及  
所述第三层和所述第二层间的第四层，其中所述第四层包括钽。
2. 权利要求 1 所述的磁隧道结，进一步包括所述第四层和所述第二层间的第五层，其中所述第五层包括铁磁材料，该铁磁材料不同于用于形成所述第二层的铁磁材料。
3. 权利要求 2 所述的磁隧道结，其中所述第五层包括钴和铁中的至少一个。
4. 权利要求 3 所述的磁隧道结，其中所述第四层和所述第五层合并。
5. 权利要求 1 所述的磁隧道结，其中所述基材料包括钎。
6. 一种磁隧道结，包括：  
第一电极和第二电极；  
所述第一电极与所述第二电极间的隧道阻挡；  
所述第一电极与所述隧道阻挡间的自由合成反铁磁；  
所述隧道阻挡与所述第二电极间的固定层；

其中所述自由合成反铁磁包括：

第一层和第二层，其中所述第一层和所述第二层是铁磁的；

所述第一层和所述第二层间的第三层，其中所述第三层包括第一材料和第二材料，其中所述第一材料是钉、铈、铈和钷之一，而所述第二材料是硼、铝、碳、钽、铌、钼、锆和钨之一。

7. 权利要求 6 所述的磁隧道结，其中所述第一材料和所述第二材料形成合金。

8. 权利要求 7 所述的磁隧道结，其中所述第一材料为钉，而所述第二材料为钽和硼之一。

9. 权利要求 8 所述的磁隧道结，其中所述第二材料是硼。

10. 权利要求 6 所述的磁隧道结，其中所述第三层包括所述第一材料的第四层和所述第二材料的第五层。

11. 权利要求 10 所述的磁隧道结，其中所述第四层为钉，而所述第五层为钽。

12. 权利要求 11 所述的磁隧道结，其中所述第四层处于所述第五层与所述第一层之间，并且进一步地包括所述第五层和所述第二层之间的所述第一材料的第六层。

13. 权利要求 12 所述的磁隧道结，进一步地包括所述第六层和所述第二层之间的所述第二材料的第七层。

14. 一种磁隧道结，包括：

第一电极和第二电极；

所述第一电极与所述第二电极间的隧道阻挡；

所述第一电极与所述隧道阻挡间的自由合成反铁磁；  
所述隧道阻挡与所述第二电极间的固定层；  
其中所述自由合成反铁磁包括：  
第一层和第二层，其中所述第一层和所述第二层是铁磁的；  
所述第一层和所述第二层间的第一材料的第三层，其中所述第一材料是基材料，所述基材料反铁磁耦合所述第一层和所述第二层；  
所述第三层和所述第二层间的第二材料的第四层，其中所述第二材料选自镍-铁、钴-铁、钽和铝；以及  
所述第四层和所述第二层间的所述第一材料的第五层。

15. 权利要求 14 所述的磁隧道结，进一步包括：

所述第五层和所述第二层间的所述第二材料的第六层；以及  
所述第六层和所述第二层间的所述第一材料的第七层。

16. 权利要求 14 所述的磁隧道结，其中所述第二材料为镍-铁。

17. 权利要求 14 所述的磁隧道结，其中所述第二材料为钴-铁。

18. 权利要求 14 所述的磁隧道结，其中所述第一层包括镍-铁合金。

19. 权利要求 18 所述的磁隧道结，其中所述镍-铁合金的铁原子百分比是 16-20%。

20. 权利要求 19 所述的磁隧道结，其中所述第二层包括镍铁，其铁原子百分比为 18%。

21. 一种形成磁隧道结的方法，包括：

形成第一电极；

在所述第一电极上形成固定层；

在所述固定层上形成隧道阻挡；

在所述隧道阻挡上形成自由合成反铁磁，包括：

在所述隧道阻挡上形成第一铁磁层；

在所述第一铁磁层上淀积钽；

在所述钽上淀积基材料；以及

在所述基材料上形成第二铁磁层，其中所述基材料反铁磁耦合所述第一层和所述第二层；以及

在所述第二铁磁层上形成第二电极。

22. 权利要求 21 所述的方法，进一步包括在所述第一铁磁层上淀积所述钽之前，在所述第一铁磁层上淀积第三铁磁层，所述第三铁磁层包括钴和铁中的至少一个。

23. 权利要求 21 所述的方法，其中淀积所述基材料包括淀积铯和钕之一。

24. 权利要求 21 所述的方法，其中形成所述第一铁磁层包括形成镍-铁合金。

25. 权利要求 24 所述的方法，其中形成所述镍-铁合金包括形成具有 16%至 20%铁原子百分比的镍-铁合金。

26. 权利要求 25 所述的方法，其中形成所述镍-铁合金包括形成具有 18%铁原子百分比的镍-铁合金。

27. 一种磁隧道结，包括：

第一电极和第二电极；

所述第一电极与所述第二电极间的隧道阻挡；

所述第一电极与所述隧道阻挡间的自由合成反铁磁；

所述隧道阻挡与所述第二电极间的固定层；

其中所述自由合成反铁磁包括：

第一层和第二层，其中所述第一层和所述第二层是铁磁的；

所述第一层和所述第二层间的第三层，其中所述第三层包括基材料，所述基材料反铁磁耦合所述第一层和所述第二层；

所述第三层和所述第二层间的传导性的第四层；以及

所述第四层和所述第二层间的第五层，其中所述第五层包括钴和铁中的至少一个。

## MRAM 技术中用于 MTJ 中的合成反铁磁结构及 MTJ 的形成方法

### 技术领域

本发明涉及磁隧道结 (MTJ)，并且更具体地，涉及使用用于自由层 (free layer) 的合成反铁磁 (SAF) 结构的 MTJ。

### 背景技术

公知磁阻随机存取存储器 (MRAM) 具有许多优点，例如快速、非易失性和高密度。然而，在以可制造方式生产 MRAM 中存在困难。已经遭遇的困难之一是难于可靠地写入 MRAM 单元。通过转换比特已经有效地解决了这一困难，转换比特既改变写入方式，又改变以前使用的自由层的结构。这一特定解决方案通常使用用于自由层的 SAF 结构。使用用于自由层的 SAF 结构解决写入问题然后改变对于改善 MRAM 比特单元所需的考虑，更具体地是 MRAM 比特单元的 MTJ 部分所需的考虑。对于 MRAM 的一个持续的希望是提高磁阻比 (MR)，磁阻比是两个逻辑状态间的阻值变化与低阻状态阻值的比率。用 SAF 自由层代替单个自由层可降低 MR。由于感应电路可用的信号与 MR 成比例，因此在具有 SAF 自由层的 MTJ 中提高 MR 的改善将导致感应速度的改善。另一问题是控制自由层 SAF 的反铁磁耦合强度的能力。需要控制该耦合，以便将写入电流保持在可接受的范围内。另一问题是耐久性，特别是热耐久性。MTJ 材料对于升高的温度往往比在一些半导体工艺中使用的材料具有更高的敏感度。具体地，SAF 材料在导致反铁磁耦合强度退化的升高温度下具有失效模式。

从而，需要发展 MRAM，以改善热耐久性、MR 比和写入电流控制中的一个或多个。

### 附图说明

本发明通过示例说明，但并不限于附图，其中相同的引用标记表示相同的元件，并且其中：

图 1 是根据本发明实施例的用于 MRAM 的磁隧道结 (MTJ) 的剖面图；

图 2 是根据本发明实施例的图 1 的一部分 MTJ 的剖面图；

图 3 是根据图 2 中所示的 MTJ 的替换实施例的图 1 的一部分 MTJ 的剖面图；和

图 4 是根据图 2 中所示的 MTJ 的另一替换实施例的图 1 的一部分 MTJ 的剖面图。

技术人员知道，图中的元件仅出于简明的目的而说明，并不一定按比例绘制。例如，图中一些元件的尺寸相对于其它元件可能夸大，以有助于提高对于本发明实施例的理解。

### 具体实施方式

在一个方面中，在磁阻随机存取存储器 (MRAM) 中有用的磁隧道结 (MTJ) 具有自由层，该自由层是合成反铁磁 (SAF) 结构。该 SAF 包括由耦合层分隔的两个铁磁层。该耦合层具有非磁性的基材料和改善热耐久性、SAF 的耦合强度控制和 MR 的其它材料。优选的基材料是钌，优选的其它材料是钽和钴-铁合金。通过参考附图和下面的说明可更好地理解这一点。

图 1 中所示的是 MTJ 10，包括上电极 12、紧邻上电极 12 之下的自由 SAF 14、紧邻 SAF 14 之下的隧道阻挡 16、紧邻隧道阻挡 16 之下的固定 SAF 18、紧邻固定 SAF 18 之下的钉扎 (pinning) 层 20、紧邻钉扎层 20 之下的籽晶层 22 和紧邻籽晶层 22 之下的基电极 24。自由 SAF 14 包括紧邻上电极 12 之下的铁磁层 26、紧邻铁磁层 26 之下的耦合层 28 以及紧邻耦合层 28 之下的铁磁层 30。固定 SAF 18 包括紧邻隧道阻挡 16 之下的铁磁层 32、紧邻铁磁层 32 之下的耦合层 34 以及紧邻耦合层 34 之下的铁磁层 36。铁磁层 34 和 36 优选地由合金构成，该合

金包括钴和铁。除了耦合层 28 包括材料的组合，优选地是钉和钽，和铁磁层 30 优选地是在与耦合层 28 的界面处包括钴和铁之外，MTJ 10 为本领域的技术人员所公知。本领域的技术人员公知，固定 SAF 18 可由其它结构代替，这些结构提供与隧道阻挡 16 接触的磁性固定层 32，例如单个钉扎铁磁层，使得固定层 32 的磁运动矢量在用于切换自由层的施加场中基本上不会移动。

图 2 中所示的是 SAF 14，包括铁磁层 26 和 30、插入层 41 以及耦合层 28，耦合层 28 由紧邻铁磁层 26 之下的基层 38 和紧邻基层 38 之下的插入层 40 构成。插入层 41 处于铁磁层 30 和插入层 40 之间。具有铁和钴的铁磁材料的插入层 41 磁性地作用为铁磁层 30 的一部分。插入层 41 优选地是钴铁合金，但也可以替代为其它材料，例如钴或铁。基层 38 优选地包括钉，但还可包括另外的基材料，例如铈、铈和钕。此处使用的基材料指其本身足以提供 SAF 中两个铁磁材料间的必要的反铁磁耦合的材料。插入层 40 优选地是钽，并且被插入以改善 SAF 14 的性质。插入层 41 优选地是钴-铁，并且也被插入以改善 SAF 14 的性质。铁磁层 26 和 30 优选地是 16%至 20%的铁原子百分比的镍-铁合金，并且更优选地是 18%的铁原子百分比。

插入层 41 优选地是利用钴-铁目标通过离子束淀积而淀积形成，但也可使用其它工艺。一个替换示例是磁电管溅射。优选地直接在铁磁层 30 上淀积插入层 41。然后利用钽目标通过离子束淀积直接在插入层 41 上淀积插入层 40，但是也可使用其它工艺，例如磁电管溅射。公差应保持得尽可能得小，但是耦合层 28 的厚度范围可为 6-10 埃。基层 38 优选地是 6.0 至 6.5 埃，而插入层 40 优选地被淀积至 2.5 埃的厚度。插入层 41 优选地被淀积至 2.5 埃的厚度，应尽可能得紧贴，但是范围可为 1.5-5 埃。这些尺度基于将钉用作具有中心为 7-8 埃附近的耦合峰的基材料。可使用显著地影响这些尺度的其它峰。随着插入层 40 和 41 被淀积至亚原子厚度，插入层 40 和 41 可作为单个合金层出现。从而，在最终的 MTJ，例如 MTJ 10 中，难以实际区分层 40 和 41。

基层 38 在铁磁层 26 和 30 间提供足够的耦合,以实现反铁磁对准,并且插入层 40 和 41 的增加改善了最终的 SAF 14 的某些特性。例如,一个改善是热耐久性。SAF 14 出现失效时的温度比如果单独使用钉更高。另一改善是铁磁层 26 和 30 间的耦合强度控制。基层 38 的厚度随工艺变化难以保持不变。耦合强度随该厚度而变化。由于增加插入层 40 和 41,耦合强度的改变速率的变化小于基层厚度的变化,这导致提高了耦合强度的控制。还有一改善是对于 MTJ 10 的 MR 比的改善。例如,如果在增加插入层 40 和 41 之前 MR 比是约 30%,则由于插入层 40 和 41 的插入,可观察到 MR 比增加 3 个百分点,这大约是 10%的改善。可能存在这样的情况,不使用增加的层 40 和 41 中的一个是有利的。

图 3 中所示的是用于代替图 1 中的 SAF 14 的替换 SAF 42。SAF 42 包括紧邻上电极 12 之下的铁磁层 46、紧邻铁磁层 46 之下的耦合层 48、紧邻耦合层 48 之下的铁磁层 50。在这种情况下,耦合层 48 是基材料和改善热耐久性与耦合强度控制的其它材料的合金。基材料的示例是钉、铈、铈和铈。被增加以形成合金的增加材料从硼、铝、碳、钼、铌、钼、锆和钨中选择。优选的组合是钉和硼,因为其具有仅通过钉获得的相同耦合强度的 SAF 相比,在高温退火中显示出更好的耐久性。耦合层 48 优选地处于 6-10 埃的范围中。此外,这些尺度基于将钉用作具有中心为 7-8 埃附近的耦合峰的基材料。可使用显著地影响这些尺度的其它峰。

图 4 中所示的是用于代替图 1 的 SAF 14 的另一替换 SAF 60。SAF 60 包括紧邻上电极 12 之下的铁磁层 64、紧邻铁磁层 64 之下的耦合层 62 以及紧邻耦合层 62 之下的铁磁层 66。在这种情况下,耦合层 62 是多层复合物,该多层包括铁磁层 66 上的层 78、层 78 上的层 76、层 76 上的层 74、层 74 上的层 72、层 72 上的层 70 以及层 70 上的层 68。该多层配置交替基材料和增加的材料,以改善 SAF 60 的特性,并从而改

善 MTJ 10 的特性。在这些层中，层 68、72 和 76 是基材料，而层 70、74 和 78 是增加的材料。这是六层的示例，但是层数可以更少或者更多。增加的材料可以是镍-铁、钴-铁、钽、铝中的一种。已经表明它们提供耦合强度控制的益处。耦合层 62 的总厚度应当处于 6-10 埃的范围。在 6 层的示例中，层 68-78 的每一个应当处于 1-1.7 埃的范围之内，以实现耦合层 62 的希望厚度。在这些小的尺度下，可能难于分辨各个层。已经表明该多层方法在选择耦合强度方面给出更多的控制。优选的材料是用于基材料的钨和作为增加的材料钽。

在前面的说明书中，已经参考特定实施例说明了本发明。然而，本领域的普通技术人员明白，在不脱离权利要求说明的本发明的范围的情况下，可以进行各种修改和变化。因此，说明书与附图被视为解释意义，而不是限制意义，并且所有这些修改包括在本发明的范围之内。

上面对于特定实施例说明了益处、其它优势和问题的解决方案。然而，这些益处、优势、问题的解决方案以及使任何益处、优势或解决方案出现或显得更加明显的任何要素将不被视为任何或所有权利要求的关键的、必须的或本质的特征。如此处所使用，术语“包括”或其另外的变形，目的是涵盖非排它性的内容，使得包括一系列要素的过程、方法、物品或装置不仅包括这些要素，而且包括没有明确列出的或这些过程、方法、物品或装置所固有的要素。

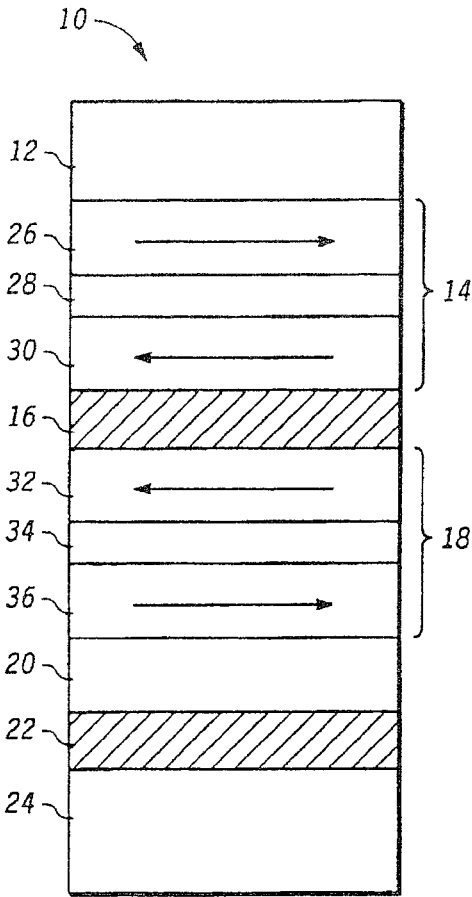


图1

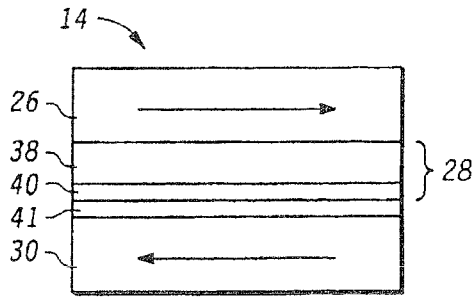


图2

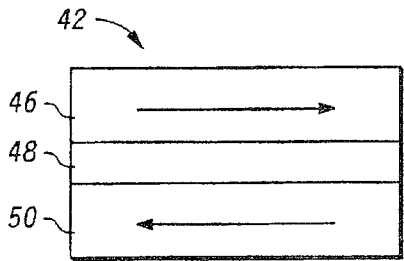


图3

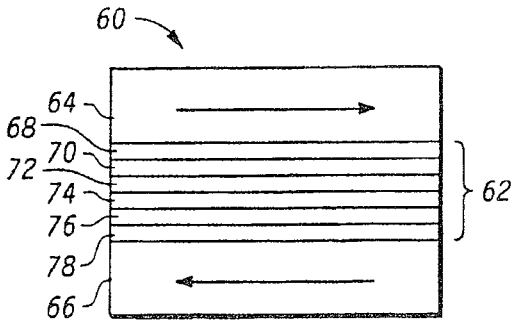


图4