



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102024903 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 16

(21) 申请号 201010282801. 3

(22) 申请日 2010. 09. 13

(30) 优先权数据

10-2009-0086084 2009. 09. 11 KR

10-2009-0093306 2009. 09. 30 KR

(73) 专利权人 三星电子株式会社

地址 韩国京畿道水原市灵通区梅滩洞 416
番地

(72) 发明人 吴世忠 李将银 李济珩 金佑填
林佑昶 郑峻昊 崔锡宪

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理
有限公司 11112

代理人 陈源 张帆

(51) Int. Cl.

H01L 43/08(2006. 01)

G11C 11/15(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2007/0086121 A1, 2007. 04. 19, 说明书第

0048-0253 段, 附图 1-12.

US 2005/0099724 A1, 2005. 05. 12, 说明书第
0167-0189 段, 附图 20-23.

US 2007/0297220 A1, 2007. 12. 27, 说明书第
0030-0155 段, 附图 1-9.

CN 1823371 A, 2006. 08. 23, 全文.

US 2007/0297222 A1, 2007. 12. 27, 全文.

审查员 叶常茂

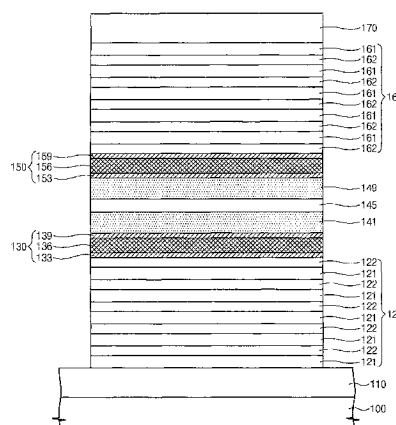
权利要求书3页 说明书26页 附图8页

(54) 发明名称

磁存储器件

(57) 摘要

一种磁存储器件可以包括第一垂直磁性层、在第一垂直磁性层上的非磁性层、以及在非磁性层上的第一结磁性层, 其中, 非磁性层在第一垂直磁性层和第一结磁性层之间。隧道势垒可以在第一结磁性层上, 其中, 第一结磁性层在非磁性层和隧道势垒之间。第二结磁性层可以在隧道势垒上, 其中, 隧道势垒在第一结磁性层和第二结磁性层之间, 并且第二垂直磁性层可以在第二结磁性层上, 其中, 第二结磁性层在隧道势垒和第二垂直磁性层之间。



1. 一种磁存储器件,包括:

第一垂直磁性层;

所述第一垂直磁性层上的非磁性层;

所述非磁性层上的第一结磁性层,其中,所述非磁性层在所述第一垂直磁性层和所述第一结磁性层之间,并且所述第一结磁性层包括 CoFe 或 NiFe;

所述第一结磁性层上的隧道势垒,其中,所述第一结磁性层在所述非磁性层和所述隧道势垒之间;

所述隧道势垒上的第二结磁性层,其中,所述隧道势垒在所述第一结磁性层和所述第二结磁性层之间,并且所述第二结磁性层包括 CoFe 或 NiFe;以及

所述第二结磁性层上的第二垂直磁性层,其中,所述第二结磁性层在所述隧道势垒和所述第二垂直磁性层之间,

其中,所述第一结磁性层与所述隧道势垒直接接触,并且所述第一结磁性层通过所述非磁性层与所述第一垂直磁性层交换耦合,

其中,所述第一结磁性层和所述第二结磁性层中的每一个还包括硼。

2. 如权利要求 1 所述的磁存储器件,其中,所述第一垂直磁性层和所述第二垂直磁性层的磁化方向相对于所述隧道势垒的平面是正交的。

3. 如权利要求 1 所述的磁存储器件,其中,所述非磁性层是第一非磁性层,所述器件进一步包括:

在所述第二结磁性层和所述第二垂直磁性层之间的第二非磁性层。

4. 如权利要求 1 所述的磁存储器件,其中,所述第一结磁性层和/或所述第二结磁性层包括第一晶体结构,并且其中,所述第一垂直磁性层和/或所述第二垂直磁性层包括不同于所述第一晶体结构的第二晶体结构。

5. 如权利要求 4 所述的磁存储器件,其中,在所述隧道势垒和所述第一结磁性层之间的界面处的所述隧道势垒的晶面与在所述隧道势垒和所述第一结磁性层之间的界面处的所述第一结磁性层的晶面是相同的。

6. 如权利要求 5 所述的磁存储器件,其中,所述第一晶体结构是体心立方 (BCC) 晶体结构,并且所述晶面是 (001) 晶面。

7. 如权利要求 4 所述的磁存储器件,其中,所述第二晶体结构是 L10 晶体结构或六方紧密堆积晶格。

8. 如权利要求 1 所述的磁存储器件,其中,所述第一垂直磁性层和/或所述第二垂直磁性层包括交替堆叠多次的非磁性金属层和铁磁金属层,并且所述铁磁金属层包括一个至数个原子的厚度。

9. 如权利要求 1 所述的磁存储器件,其中,所述第一垂直磁性层和/或所述第二垂直磁性层包括 RE-TM 合金。

10. 如权利要求 1 所述的磁存储器件,其中,所述非磁性层具有在 $2\text{\AA}$ (埃) 至 $20\text{\AA}$ (埃) 的范围内的厚度。

11. 如权利要求 1 所述的磁存储器件,其中,所述非磁性层包括非磁性金属。

12. 如权利要求 1 所述的磁存储器件,其中,所述非磁性层包括非磁性过渡金属。

13. 如权利要求 1 所述的磁存储器件,其中,所述第一垂直磁性层和所述第一结磁性层通过所述非磁性层来进行交换耦合。

14. 如权利要求 1 所述的磁存储器件,其中,所述非磁性层包括金属化合物层,所述金属化合物层包括从由金属氧化物、金属氮化物、和 / 或金属氮氧化物组成的组中选择的至少一种。

15. 一种磁存储器件,包括:

衬底;

在所述衬底上的第一磁性物质,所述第一磁性物质包括与所述衬底相邻的具有六方紧密堆积 (HCP) 晶格结构的第一垂直磁性层;

所述第一磁性物质上的隧道势垒,其中,所述第一磁性物质在所述衬底和所述隧道势垒之间;以及

所述隧道势垒上的第二磁性物质,所述第二磁性物质包括具有 HCP 晶格结构的第二垂直磁性层,其中,所述隧道势垒在所述第一磁性物质和所述第二磁性物质之间,

其中,所述第一磁性物质包括与所述隧道势垒直接接触的第一磁性结层,其中,所述第一磁性结层在所述第一垂直磁性层和所述隧道势垒之间,并且所述第一磁性结层包括 CoFe 或 NiFe,

其中,所述第二磁性物质包括与所述隧道势垒直接接触的第二磁性结层,并且其中,所述第二磁性结层在所述隧道势垒和所述第二垂直磁性层之间,并且所述第二磁性结层包括 CoFe 或 NiFe,

其中,所述第一磁性结层和所述第二磁性结层中的每一个还包括硼,

所述磁存储器件还包括交换耦合控制层,所述交换耦合控制层在所述第一垂直磁性层与所述第一磁性结层之间和 / 或在所述第二垂直磁性层与所述第二磁性结层之间,

其中,所述交换耦合控制层包括顺序堆叠的下金属化合物层、非磁性金属层以及上金属化合物层。

16. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,其中,所述 HCP 晶格的 c 轴相对于所述衬底的平面是正交的。

17. 如权利要求 16 所述的磁存储器件,其中,所述 c 轴是所述垂直磁性层被容易地磁化的轴。

18. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,进一步包括:

具有 HCP 晶格结构的籽晶层,其中,所述籽晶层在所述衬底和所述第一垂直磁性层之间。

19. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,其中,所述第一磁性结层和所述第二磁性结层中的每一个包括软磁材料。

20. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,其中,所述交换耦合控制层的晶体结构与所述第一磁性结层的晶体结构和 / 或与所述第二磁性结层的晶体结构对准。

21. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,其中,所述第二磁性物质包括在所述第二垂直磁性层上交替堆叠多次的非磁性层和铁磁层。

22. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,其中,所述第一垂直磁性层包括具有在 10% 原子百分比至 45% 原子百分比的范围内的铂含量的无序钴 - 铂合金。

23. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,其中,所述第一垂直磁性层包括 Co_3Pt 。

24. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,其中,所述第一垂直磁性层进一步包括从由硼(B)、铬(Cr)和/或铜(Cu)组成的组中选择的至少一种。

25. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,其中,所述隧道势垒包括从由镁(Mg)、钛(Ti)、铝(Al)、镁-锌(MgZn)和/或镁-硼(MgB)的氧化物、和/或钛(Ti)和/或钒的氮化物组成的组中选择的至少一种。

26. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,进一步包括:

在所述第二磁性物质上的覆盖层,其中,所述覆盖层包括从由钽(Ta)、铝(Al)、铜(Cu)、金(Au)、银(Ag)、钛(Ti)、氮化钽(TaN)、和/或氮化钛(TiN)组成的组中选择的至少一种。

27. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,其中,在所述磁存储器件的操作期间,电流在相对于所述衬底的平面正交的方向上流动。

28. 如权利要求 15 所述的磁存储器件,其中,所述第一垂直磁性层的磁化方向和/或所述第二垂直磁性层的磁化方向相对于所述衬底的平面是正交的。

磁存储器件

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本美国正式专利申请基于 35U. S. C § 119 要求在 2009 年 9 月 30 日提交的韩国专利申请 No. 10-2009-0093306 和 2009 年 9 月 11 日提交的韩国申请 No. 10-2009-0086084 的优先权权益,其公开的全部内容通过引用合并于此。

技术领域

[0003] 这里,本公开涉及存储器器件,并且更具体地,涉及磁存储器件。

背景技术

[0004] 随着电子设备的高速操作和低功耗的实现,存储器器件可能也要求快速的读 / 写性能以及低操作电压。作为存储器器件,正在研究磁存储器件来提供提高的速度和降低的操作电压。因为磁存储器件可以提供高速操作和 / 或非易失性的特性,因此针对下一代存储器,磁存储器件引起注意。

[0005] 公知的磁存储器件可以包括磁性隧道结图案 (MTJ)。磁性隧道结图案由两种磁性物质和插入其间的绝缘层形成,并且磁性隧道结图案的电阻值可以根据两种磁性物质的磁化方向而变化。具体地,当两种磁性物质的磁化方向彼此反平行时,磁性隧道结图案可以具有高电阻值。当两种磁性物质的磁化方向彼此平行时,磁性隧道结图案可以具有低电阻值。这些电阻值之间的差可以用于写 / 读数据。

发明内容

[0006] 根据本发明原理的一些实施例,磁存储器件可以提供增强的可靠性、高磁阻比、和 / 或降低的操作功率。

[0007] 在一些实施例中,一种磁存储器件可以包括:在衬底上的隧道势垒、第一结磁性层和第二结磁性层、以及非磁性层。第一结磁性层可以接触隧道势垒的一个面。可以通过第一结磁性层将第一垂直磁性层与隧道势垒分开。第二结磁性层可以接触隧道势垒的另一面,并且可以通过第二结磁性层将第二垂直磁性层与隧道势垒分开。非磁性层可以在第一结磁性层和第一垂直磁性层之间。

[0008] 在其他实施例中,当磁存储器件操作时,第一垂直磁性层和第二垂直磁性层的磁化方向可以垂直于所述衬底的平面。

[0009] 在另外的实施例中,另一非磁性层可以被插入在第二结磁性层和第二垂直磁性层之间。

[0010] 在其他实施例中,第一结磁性层和 / 或第二结磁性层可以具有第一晶体结构,而第一垂直磁性层和 / 或第二垂直磁性层可以具有不同于第一晶体结构的第二晶体结构。

[0011] 在另外的实施例中,在隧道势垒和第一结之间的界面处的隧道势垒的晶面可以与该界面处的第一结磁性层的晶面相同。第一晶体结构可以是 NaCl 型晶体结构或 BCC 晶体结构,并且晶面可以是 (001) 晶面。

[0012] 在另外的实施例中,第二晶体结构可以是 L10 晶体结构、FCC 晶体结构或六方紧密堆积 (HCP) 晶格。

[0013] 在另外的实施例中,第一垂直磁性层和 / 或第二垂直磁性层可以包括 RE-TM (稀土过渡金属) 合金。

[0014] 在另外的实施例中,第一垂直磁性层和 / 或第二磁性层可以包括交替堆叠多次的非磁性金属层和铁磁金属层,并且铁磁金属层可以具有一个至数个原子的厚度。

[0015] 在另外的实施例中,第一结磁性层和 / 或第二结磁性层可以包括合金磁性材料,所述合金磁性材料包括从由钴 (Co)、铁 (Fe) 和镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种,并且合金磁性物质可以进一步包括非磁性元素。

[0016] 在一些实施例中,非磁性层可以具有在约 $2\text{\AA}$ (埃) 至约 $20\text{\AA}$ (埃) 的范围内的厚度。

[0017] 在其他实施例中,非磁性层可以包括从非磁性金属中选择的至少一种。非磁性金属可以是从小磁性过渡金属中选择的至少一种。

[0018] 在其他的实施例中,第一垂直磁性层和第一结磁性层可以通过非磁性层来彼此交换耦合。

[0019] 在其他的实施例中,非磁性层可以进一步包括接触非磁性层的顶面和 / 或底面的金属化合物层,并且金属化合物层可以包括从由金属氧化物、金属氮化物和 / 或金属氮氧化物组成的组中选择的至少一种。

[0020] 在发明原理的其他实施例中,磁存储器件可以包括在衬底上的隧道势垒、接触隧道势垒的一个面并且具有平行于衬底平面的平面的自由磁性层、以及接触隧道势垒的另一面并且具有平行于衬底平面的平面的基准磁性层。自由磁性层和基准磁性层可以包括铁 (Fe), 并且自由磁性层的铁含量可以等于或大于基准磁性层的铁含量。

[0021] 在一些实施例中,自由磁性层的铁 (Fe) 含量可以在约 40% 原子百分比至约 60% 原子百分比的范围内。

[0022] 在其他实施例中,自由磁性层和 / 或基准磁性层可以进一步包括从 Co 和 Ni 中选择的至少一种。

[0023] 在其他实施例中,自由磁性层和 / 或基准磁性层可以进一步包括非磁性元素。

[0024] 在其他实施例中,当磁存储器件操作时,自由磁性层和基准磁性层可以具有垂直 (正交) 于衬底的平面 / 表面的磁化方向。

[0025] 在其他实施例中,当磁存储器件操作时,自由磁性层和基准磁性层可以具有平行于衬底的平面 / 表面的磁化方向。

[0026] 在本发明原理的其他实施例中,磁存储器件可以包括衬底。可以在衬底上顺序地堆叠第一磁性物质、隧道势垒和第二磁性物质。第一磁性物质可以包括第一垂直磁性层,所述第一垂直磁性层与衬底相邻并且具有六方紧密堆积 (HCP) 晶格结构。

[0027] 在一些实施例中,六方紧密堆积晶格的 c 轴可以基本上垂直于衬底的平面。

[0028] 在其他实施例中,所述 c 轴是第一垂直磁性层可以被容易地磁化的轴。

[0029] 在其他实施例中,磁存储器件可以进一步包括在衬底和第一垂直磁性层之间的包括 HCP 晶格的籽晶层。

[0030] 在其他实施例中,第二磁性衬底可以进一步包括具有六方紧密堆积晶格结构的第

二垂直磁性层。

[0031] 在其他实施例中,第一磁性物质可以包括在第一垂直磁性层上与隧道势垒相邻的第一磁性结层,并且第二磁性物质可以包括在第二垂直磁性层以下与隧道势垒相邻的第二磁性结层。

[0032] 在另外的实施例中,第二磁性结层和第一磁性结层可以包括软磁材料。

[0033] 在另外的实施例中,磁存储器件可以进一步包括在第一垂直磁性层与第一磁性结层之间的和/或在第二垂直磁性层与第二磁性结层之间的交换耦合控制层。

[0034] 在另外的实施例中,交换耦合控制层可以包括从包括过渡金属元素的金属元素中选择的至少一种。

[0035] 在另外的实施例中,交换耦合控制层可以进一步包括通过交换耦合控制层的表面的氧化而形成的氧化层。

[0036] 在替代实施例中,第二磁性物质可以进一步包括在第二垂直磁性层上交替堆叠多次的非磁性层和铁磁层。铁磁层可以具有原子层厚度。

[0037] 在另外的替代实施例中,第一垂直磁性层可以包括具有在约 10% 原子百分比至约 45% 原子百分比的范围内的铂含量的无序钴铂合金。

[0038] 在另外的替代实施例中,第一垂直磁性层可以包括 Co_3Pt 。

[0039] 在另外的替代实施例中,第一垂直磁性层可以进一步包括从由硼 (B)、铬 (Cr) 和铜 (Cu) 组成的组中选择的至少一种。

[0040] 在其他的替代实施例中,隧道势垒可以包括从由镁 (Mg)、钛 (Ti)、铝 (Al)、镁锌 (MgZn) 和/或镁硼 (MgB) 的氧化物、和/或钛 (Ti) 和/或钒 (V) 的氮化物组成的组中选择的至少一种。

[0041] 在另外的替代实施例中,磁存储器件可以进一步包括在第二磁性物质上的覆盖层。覆盖层可以包括从由钽 (Ta)、铝 (Al)、铜 (Cu)、金 (Au)、银 (Ag)、钛 (Ti)、氮化钽 (TaN) 和/或氮化钛 (TiN) 组成的组中选择的至少一种。

[0042] 在其他的替代实施例中,当磁存储器件操作时,电流可以在基本上垂直于衬底的平面的方向上流动。

[0043] 在其他的替代实施例中,第二磁性层和第一磁性层的磁化方向可以基本上垂直于衬底的平面。

[0044] 根据一些实施例,磁存储器件可以包括第一垂直磁性层、第一垂直磁性层上的非磁性层、以及非磁性层上的第一结磁性层,其中,非磁性层在第一垂直磁性层与第一结磁性层之间。隧道势垒可以在第一结磁性层上,其中,第一结磁性层在非磁性层与隧道势垒之间。第二结磁性层可以在隧道势垒上,其中,隧道势垒在第一结磁性层与第二结磁性层之间。第二垂直磁性层可以在第二结磁性层上,其中,第二结磁性层在隧道势垒与第二垂直磁性层之间。

[0045] 根据一些其他的实施例,磁存储器件可以包括:含有铁 (Fe) 的自由磁性层、自由磁性层上的隧道势垒、以及在隧道势垒上的含有铁 (Fe) 的基准磁性层。隧道势垒可以在自由磁性层和基准磁性层之间。自由磁性层中的铁的浓度可以至少与基准磁性层中的铁的浓度一样大。

[0046] 根据其他的实施例,磁存储器件可以包括衬底、衬底上的第一磁性物质、第一磁性

物质上的隧道势垒、以及隧道势垒上的第二磁性物质。第一磁性物质可以包括与衬底相邻且具有六方紧密堆积 (HCP) 晶格结构的垂直磁性层。磁性物质可以在衬底和隧道势垒之间,并且隧道势垒可以在第一磁性物质和第二磁性物质之间。

附图说明

[0047] 附图被包括进来以提供本发明原理的进一步理解,并且被并入并且构成本说明书的一部分。附图图示了本发明原理的示例性实施例,并且与描述一起用于解释本发明原理的原则。在附图中:

[0048] 图 1 是图示根据本发明原理的第一实施例的磁存储器件的视图;

[0049] 图 2 是图示根据本发明原理的第一实施例的磁存储器件的修改示例的视图;

[0050] 图 3 是图示根据本发明原理的第一实施例的磁存储器件的另一修改示例的视图;

[0051] 图 4A 至图 4C 是描述用于根据本发明原理的第一实施例的磁存储器件的方法的视图;

[0052] 图 5 是图示根据本发明原理的第二实施例的磁存储器件的视图;

[0053] 图 6 是图示根据本发明原理的第二实施例的磁存储器件的修改示例的视图;

[0054] 图 7 是图示根据本发明原理的第三实施例的磁存储器件的视图;

[0055] 图 8 是描述用于根据本发明原理的第三实施例的磁存储器件的方法的视图;

[0056] 图 9 是描述根据本发明原理的第三实施例的晶体结构的视图;以及

[0057] 图 10 是图示根据本发明原理的第四实施例的磁存储器件的视图。

具体实施方式

[0058] 在下文中,将参考附图来更加详细地描述根据本发明原理的实施例的磁存储器件以及用于形成该磁存储器件的方法。提供待描述的实施例,使得本领域的技术人员易于理解本发明原理的精神,并且发明原理不应当由此被解释为受限的。发明原理的实施例可以在发明原理的技术精神和范围内以不同形式来实施。在附图中,可能放大元件的厚度和相对厚度,以清楚地图示发明原理的实施例。与位置相关的术语,诸如说明书中的上和下,均是相对性的表达,以明确描述并且不应当解释为限于绝对元件之间的位置。

[0059] 通过参考实施例的下述详细描述和附图,可以更易于理解发明原理的优点和特征以及实现本发明原理的方法。然而,发明原理可以以许多不同的形式来实施,并且不应当解释为限制为在此阐述的实施例。相反,提供这些实施例,使得本公开将是全面和完整的,并且将全面地将发明原理传达给本领域的技术人员,并且本发明原理将仅由所附权利要求来限定。在整个说明书中,相同的附图标记表示相同的元件。

[0060] 应当理解,当元件被称为“在...上”、“连接到”或“耦合到”另一元件时,该元件可以直接在另一元件上、直接连接到另一元件或直接耦合到另一元件,或者可能存在插入元件。相反,当元件被称为“直接在...上”、“直接连接到”或“直接耦合到”另一元件时,不存在插入元件。如在此所使用的,术语“和/或”包括相关列出项的任何一个以及一个或多个的所有组合。

[0061] 应当理解,尽管这里术语第一、第二等可以在用于描述各种元件、部件、层和/或部分,但这些元件、部件、层和/或部分不应当受这些术语的限制。这些术语仅用于将一个

元件、部件或部分与另一元件、部件或部分进行区分。因此,在不脱离本发明原理的教导的情况下,下述第一元件、第一部件、第一层或第一部分能够被称为第二元件、第二部件、第二层或第二部分。

[0062] 除非另外限定,在此使用的所有术语(包括技术和科学术语)具有与发明原理所属于的领域的普通技术人员通常理解的相同的意义。应当进一步理解,诸如在通用字典中定义的术语应当被解释为具有与在相关领域的背景下其含义一致的含义,并且不应当以理想化或过度正式意义来解释,除非在此明确地进行限定。

[0063] 另外,当没有具体定义在本说明书中使用的术语时,本领域的技术人员能理解在本说明书中使用的所有术语(包括技术和科学术语)。此外,当没有具体定义字典中定义的通用术语时,这些术语将具有本领域中的普通含义。

[0064] 可以在此使用诸如“在...下”或“在...上”,或“上”或“下”或“水平”或“横向”或“垂直”的关系术语来描述在附图中所示的一个元件、层或区域与另一元件、层或区域的关系。应当理解,这些术语意图包含除了在附图中所述的定向之外的该器件的不同定向。

[0065] 在此所使用的术语仅是为了描述特定实施例的目的,而并不意在限制示例性实施例。如在此所使用的,单数形式不定冠词“a”以及“an”和定冠词“the”意在还包括复数形式,除非上下文另外清楚地指示。应当进一步理解,术语“包括”当在本说明书中使用,指定存在陈述的特征、整数、步骤、操作、元件、层和/或部件,但不排除存在或增加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、层、部件和/或其构成的组。

[0066] 在附图中,图示的特征可能由于例如制造技术和/或制造公差而改变。因此,应当理解,发明原理的示例性实施例不限于附图,而包括由于例如制造公差而引起的元件的特征的修改。

[0067] (第一实施例及其修改示例)

[0068] 参考图1,将描述根据本发明原理的第一实施例的磁存储器件。下电极110被布置在衬底100上。衬底100可以是基于半导体的半导体衬底。衬底100可以包括导电区和/或绝缘区。下电极110可以被电连接到衬底100的导电区。下电极110可以被布置在衬底100上和/或衬底100中。下电极110例如可以具有从包括线、岛和/或板的组中选择的任何一个形状。

[0069] 第一垂直磁性层123可以被布置在下电极110上。在一个实施例中,第一垂直磁性层123可以包括交替堆叠的非磁性层121和铁磁层122。铁磁层122可以包括从由铁(Fe)、钴(Co)和/或镍(Ni)组成的组中选择的至少一种元素,并且非磁性层121可以包括从由铬(Cr)、铂(Pt)、钯(Pd)、铱(Ir)、钌(Ru)、铑(Rh)、锇(Os)、铼(Re)、金(Au)、和/或铜(Cu)组成的组中选择的至少一种元素。例如,第一垂直磁性层123可以是 $[\text{Co/Pt}]_m$ 、 $[\text{Co/Pd}]_m$ 、 $[\text{Ni/Pt}]_m$ (m 是每一层的堆叠数目,并且是2或更大的自然数)或其组合。在一实施例中,非磁性层121和铁磁层122可以分别进行约2至约20次的范围内的次数的堆叠。当电流在垂直(正交)于衬底100和第一垂直磁性层123的平面的方向上流动时,第一垂直磁性层123可以被构造使得它具有平行于电流的磁化方向。对于该构造,可以薄薄地形成铁磁层122以具有一个至数个原子层的厚度。

[0070] 第一非磁性层130可以被布置在第一垂直磁性层123上。第一非磁性层130可以具有相对薄的厚度。例如,第一非磁性层130可以被形成为具有在约 $2\text{\AA}$ (埃)至约 $20\text{\AA}$

(埃)的范围内的厚度。第一非磁性层 130 可能不具有纹理。例如,第一非磁性层 130 可以被均匀地形成在第一垂直磁性层 123 上,并且可能由于薄的厚度而不具有纹理。

[0071] 第一非磁性层 130 可以包括从包括非磁性过渡金属的非磁性金属元素中选择的至少一种。例如,第一非磁性层 130 可以包括从由镁 (Mg)、铝 (Al)、钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、钽 (Ta)、金 (Au)、银 (Ag)、钯 (Pd)、铑 (Rh)、铱 (Ir)、钼 (Mo)、钒 (V)、钨 (W)、铌 (Nb)、锆 (Zr)、钇 (Y) 和 / 或铪 (Hf) 组成的组中选择的至少一种。

[0072] 在一实施例中,第一非磁性层可以形成有多个层。例如,第一非磁性层 130 可以包括在垂直磁性层 123 上顺序堆叠的第一下金属化合物层 133、第一非磁性金属层 136 和第一上金属化合物层 139。尽管在图 1 中未示出,但第一非磁性层 130 可以包括在垂直磁性层 123 上顺序地堆叠的金属化合物层 / 非磁性金属层和 / 或非磁性金属层 / 金属化合物层。第一非磁性金属层 136 可以包括从由镁 (Mg)、铝 (Al)、钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、钽 (Ta)、金 (Au)、银 (Ag)、钯 (Pd)、铑 (Rh)、铱 (Ir)、钼 (Mo)、钒 (V)、钨 (W)、铌 (Nb)、锆 (Zr)、钇 (Y) 和 / 或铪 (Hf) 组成的组中选择的至少一种。第一下金属化合物层 133 和第一上金属化合物层 139 可以是金属氧化物、金属氮化物、金属氮氧化合物和 / 或其组合。例如,每个金属化合物层可以由金属层的化合物形成。相反,第一非磁性层 130 可以包括仅单个金属层或多个金属层。通过第一下金属化合物层 133 和第一上金属化合物层 139,可以防止和 / 或减少第一非磁性金属层 136 中的金属原子扩散到另一相邻层中。

[0073] 第一结磁性层 141 可以被布置在第一非磁性层 130 上。第一结磁性层 141 可以包括软磁性材料。第一结磁性层 141 可以具有低阻尼常数和高自旋极化率。例如,第一结金属层 141 可以包括从由钴 (Co)、铁 (Fe) 和 / 或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种。第一结磁性层 141 可以进一步包括从包括硼 (B)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钛 (Ti)、钌 (Ru)、钽 (Ta)、硅 (Si)、银 (Ag)、金 (Au)、铜 (Cu)、碳 (C) 和 / 或氮 (N) 的非磁性材料中选择的至少一种。具体地,第一结磁性层 141 可以包括 CoFe 和 / 或 NiFe,并且可以进一步包括硼 (B)。此外,为了减小第一结磁性层 141 的饱和磁化强度,第一结磁性层 141 可以进一步包括从由钛 (Ti)、铝 (Al)、硅 (Si)、镁 (Mg)、钽 (Ta) 和 / 或锆 (Zr) 组成的组中选择的至少一种。

[0074] 在第一结磁性层 141 和第一垂直磁性层 123 之间的第一非磁性层 130 可以增强包括它们的磁存储器单元的垂直磁各向异性 (anisotropy)。例如,第一结磁性层 141 可以通过第一非磁性层 130 来与第一垂直磁性层 123 反铁磁性地或铁磁性地交换耦合。因为第一垂直磁性层 123 具有高垂直磁各向异性,所以还可以增强与第一垂直磁性层 123 交换耦合的第一结磁性层 141 的垂直磁各向异性。本说明书中的垂直磁各向异性被定义为要在与衬底 100 的平面垂直的方向上磁化的层的属性。如在此所使用的,术语垂直可以指相对于衬底 100 的表面正交的方向。

[0075] 第一结磁性层 141 的晶体结构由于第一非磁性层 130 可能具有不同于第一垂直磁性层 123 的晶体结构的结构。因此,可以进一步增强磁性隧道结的磁阻比。关于此的详细描述将关于后续描述的用于形成第一结金属层 141 的方法来提供。

[0076] 隧道势垒 145 可以被布置在第一结金属层 141 上。隧道势垒 145 可以具有比自旋扩散距离更薄的厚度。隧道势垒 145 可以包括非磁性材料。在一实施例中,隧道势垒 145 可以由绝缘材料层形成。相反,隧道势垒 145 可以包括多个层。例如,隧道势垒 145 可以包括从由镁 (Mg)、钛 (Ti)、铝 (Al)、镁 - 锌 (MgZn) 和 / 或镁 - 硼 (MgB) 的氧化物、和 / 或

钛 (Ti) 和 / 或钒 (V) 的氮化物组成的组中选择的至少一种。例如,隧道势垒可以由氧化镁 (MgO) 层形成。

[0077] 隧道势垒 145 可以具有与第一结磁性层 141 类似的晶体结构。例如,第一结磁性层 141 可以包括具有体心立方 (BCC) 结构的磁性材料或具有体心立方结构的磁性材料,包括非磁性元素。当第一结磁性层 141 包括非磁性元素时,磁性材料可以变成非晶的。隧道势垒 145 和第一结磁性层 141 可以分别具有 NaCl 型晶体结构和体心立方结构,并且隧道势垒 145 的 (001) 晶面可以与第一结磁性层 141 的 (001) 晶面接触以形成界面。由此可以提高包括隧道势垒 145 和第一结磁性层 141 的磁性隧道结的磁阻比。

[0078] 第二结磁性层 149 可以被布置在隧道势垒 145 上。第二结磁性层 149 可以包括软磁性材料。例如,第二结磁性层 149 可以包括钴 (Co) 原子、铁 (Fe) 原子和 / 或镍 (Ni) 原子,使得可以确定原子的含量以降低第二结磁性层 149 的饱和磁化强度。第二结磁性层 149 可以具有低阻尼常数和自旋极化率。为实现这些,第二结磁性层 149 可以进一步包括从包括硼 (B)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钛 (Ti)、钌 (Ru)、钽 (Ta)、硅 (Si)、银 (Ag)、金 (Au)、铜 (Cu)、碳 (C) 和 / 或氮 (N) 的非磁性材料中选择的至少一种。例如,第二结磁性层 149 可以包括 CoFe 和 / 或 NiFe,并且可以进一步包括硼。另外,第二结磁性层 149 可以进一步包括从包括钛 (Ti)、铝 (Al)、硅 (Si)、镁 (Mg) 和 / 或钽 (Ta) 的非磁性元素中选择的至少一种。第二结磁性层 149 中的选择的非磁性元素的含量可以在约 1% 原子百分比至约 15% 原子百分比的范围中。当第二结磁性层 149 用作磁存储器单元的自由层时,可以将第二结磁性层 149 的饱和磁化强度控制为小于第一结磁性层 141 的饱和磁化强度的值。

[0079] 第二结磁性层 149 可以具有与隧道势垒 145 类似的晶体结构。例如,隧道势垒 145 和第二结磁性层 149 可以具有 NaCl 型晶体结构和体心立方结构,并且隧道势垒 145 的 (001) 晶面可以与第二结磁性层 149 的 (001) 晶面接触以形成界面。由此可以提高包括第二结磁性层 149 和隧道势垒 145 的磁性隧道结的磁阻比。

[0080] 在一些实施例中,第二结磁性层 149 中的铁磁原子的含量可以不同于第一结磁性层 141 中的铁磁原子的含量。例如,第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 可以包括从钴 (Co)、镍 (Ni) 和 / 或铁 (Fe) 中选择的至少一种,而第二结磁性层 149 中的铁 (Fe) 含量可以等于或大于第一结磁性层 141 中的铁 (Fe) 含量。在该情况下,第二结磁性层 149 可以用作自由层。

[0081] 第二非磁性层 150 可以被布置在第二结磁性层 149 上。第二非磁性层 150 可以被形成有相对薄的厚度。例如,第二非磁性层 150 可以被形成具有在约 $2\text{\AA}$ (埃) 至约 $20\text{\AA}$ (埃) 的范围内的厚度。第二非磁性层 150 可能不具有纹理。例如,第二非磁性层 150 可以被均匀地形成在第二结磁性层 149 上,并且可能由于薄的厚度而不具有纹理。

[0082] 第二非磁性层 150 可以包括从包括非磁性过渡金属的非磁性金属元素中选择的至少一种。例如,第二非磁性层 150 可以包括从由镁 (Mg)、铝 (Al)、钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、钽 (Ta)、金 (Au)、银 (Ag)、钯 (Pd)、铑 (Rh)、铱 (Ir)、钼 (Mo)、钒 (V)、钨 (W)、铌 (Nb)、锆 (Zr)、钇 (Y) 和 / 或铪 (Hf) 组成的组中选择的至少一种。

[0083] 在一些实施例中,第二非磁性层 150 可以形成有多个层。例如,第二非磁性层 150 可以包括在第二结磁性层 149 上顺序堆叠的第二下金属化合物层 153、第二非磁性金属层 156 和第二上金属化合物层 159。尽管在图 1 中没有示出,但第二非磁性层 150 可以包括在

第二结磁性层 149 上顺序堆叠的金属化合物层 / 非磁性金属层或非磁性金属层 / 金属化合物层。第二非磁性金属层 156 可以包括从由镁 (Mg)、铝 (Al)、钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、钽 (Ta)、金 (Au)、银 (Ag)、钯 (Pd)、铑 (Rh)、铱 (Ir)、钼 (Mo)、钒 (V)、钨 (W)、铌 (Nb)、锆 (Zr)、钇 (Y) 和 / 或铪 (Hf) 组成的组中选择的至少一种。第二下金属化合物层 153 和第二上金属化合物层 159 可以是金属氧化物、金属氮化物、金属氮氧化合物或其组合。例如,第二下金属化合物层 153 和第二上金属化合物层 159 可以由第二非磁性金属层 156 的化合物形成。通过第二下金属化合物层 153 和第二上金属化合物层 159,可以防止和 / 或减少第二非磁性金属层 156 中的金属原子扩散到另一相邻层中。相反,第二非磁性层 150 可以包括仅单个金属层或多个金属层。

[0084] 第二垂直磁性层 163 可以被布置在第二非磁性层 150 上。在一些实施例中,第二垂直磁性层 163 可以包括交替堆叠的非磁性层 161 和铁磁层 162。铁磁层 162 可以包括从由铁 (Fe)、钴 (Co) 和 / 或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种,而非磁性层 161 可以包括从由铬 (Cr)、铂 (Pt)、钯 (Pd)、铱 (Ir)、钌 (Ru)、铑 (Rh)、钌 (Os)、铼 (Re)、金 (Au) 和 / 或铜 (Cu) 组成的组中选择的至少一种。例如,第二垂直磁性层 163 可以包括 $[\text{Co/Pt}]_n$ 、 $[\text{Co/Pd}]_n$ 、 $[\text{Ni/Pt}]_n$ (n 是每层的堆叠数目,并且是 2 或更大的自然数) 或其组合。铁磁层 162 可以被形成具有一个到数个原子的厚度。第二垂直磁性层 163 和第二结磁性层 149 之间的交换耦合可以由第二非磁性层 150 来增强。由此可以增强第二结磁性层 149 的垂直磁各向异性。

[0085] 第二垂直磁性层 163 中的非磁性层 161 和铁磁层 162 的堆叠数目 n 可以不同于第一垂直磁性层 123 中的非磁性层 121 和铁磁层 122 的堆叠数目 m 。例如,第二垂直磁性层 163 中的非磁性层 161 和铁磁层 162 的堆叠数目可以小于第一垂直磁性层 123 中的非磁性层 121 和铁磁层 122 的堆叠数目。在该情况下,与第一垂直磁性层 123 相邻的第一结磁性层 141 可以用作磁存储器单元的基准层,而与第二垂直磁性层 163 相邻的第二结磁性层 149 可以用作磁存储器单元的自由层。相反,第二垂直磁性层 163 中的非磁性层 161 和铁磁层 162 的堆叠数目 n 可以大于第一垂直磁性层 123 中的非磁性层 121 和铁磁层 122 的堆叠数目 m 。在该情况下,第二结磁性层 141 可以用作基准层,而第一结磁性层 149 可以用作自由层。

[0086] 根据要执行的功能,第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 可以具有不同的磁属性。例如,用作自由层的结磁性层可以具有小于用作基准层的结磁性层的饱和磁化强度。可以通过要包括的铁磁材料 (Co、Ni 和 / 或 Fe) 的比率和 / 或非磁性材料的比率来控制饱和磁化强度。

[0087] 第一结磁性层 141、隧道势垒 145 和第二结磁性层 149 可以构成磁存储器单元的磁性隧道结。可以通过使用自由层和基准层的磁化方向彼此平行还是反平行时磁性隧道结的电阻值之间的差,来将数据存储包括磁性隧道结的磁存储器单元中。自由层的磁化方向可以根据提供给磁存储器单元的电流方向而变化。例如,在电流从第一结磁性层 141 提供给第二结磁性层 149 的情况下的自由层的磁化方向,可以反平行于在电流从第二结磁性层 149 提供给第一结磁性层 141 的情况下的自由层的磁化方向。基准层和自由层的磁化方向可以垂直于衬底 100 的平面。基准层可以垂直于衬底 100 的平面,并且具有固定的第一磁化方向。自由层具有垂直于衬底 100 的平面的磁化方向,并且,自由层的磁化方向可以根据

所提供的电流的方向是第一磁化方向或反平行于第一磁化的第二磁化方向。

[0088] 覆盖层 170 可以被布置在第二垂直磁性层 163 上。覆盖层 170 可以包括从由钽 (Ta)、铝 (Al)、铜 (Cu)、金 (Au)、银 (Ag)、钛 (Ti)、钌 (Ru)、镁 (Mg)、氮化钽 (TaN) 和 / 或氮化钛 (TiN) 组成的组中选择的至少一种。

[0089] 参考图 2, 将描述根据发明原理的一些实施例的磁存储器件的一个修改示例。为清楚和 / 或简洁起见, 可以省略与图 1 中所述的元件基本上相同的元件的描述。

[0090] 下电极 110 可以被布置在衬底 100 上。籽晶层 115 和第一垂直磁性层 124 可以被布置在下电极 110 上。籽晶层 115 可以包括构成六方紧密堆积晶格 (HCP) 的金属原子。籽晶层 115 可以被形成具有从约 $10 \text{ \AA}$ (埃) 至约 $100 \text{ \AA}$ (埃) 的范围内的厚度。籽晶层 115 可以包括钌 (Ru) 或钛 (Ti)。相反, 籽晶层 115 可以包括构成面心立方晶格 (FCC) 的金属原子。例如, 籽晶层 115 可以包括铂 (Pt)、钯 (Pd)、金 (Au)、银 (Ag)、铜 (Cu) 和 / 或铝 (Al)。籽晶层 115 可以包括单个层或具有不同晶体结构的多个层。相反, 当构成第一垂直磁性层 124 的材料是非晶时, 可以省略籽晶层 115。

[0091] 第一垂直磁性层 124 的磁化方向可以基本上垂直于衬底 100 的平面并且进行修改。为实现这一点, 第一垂直磁性层 124 可以包括从由具有 L10 晶体结构的材料、具有六方紧密堆积 (HCP) 晶格的材料、以及非晶稀土过渡金属 (RE-TM) 合金组成的组中选择的至少一种。例如, 第一垂直磁性层 124 可以是具有 L10 晶体结构的材料中选择的至少一种, 所述材料包括 $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ 、 $\text{Fe}_{50}\text{Pd}_{50}$ 、 $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$ 、 $\text{Co}_{50}\text{Pd}_{50}$ 和 / 或 $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$ 。相反, 第一垂直磁性层 124 可以包括具有约 10% 原子百分比至约 45% 原子百分比的铂含量的无序钴铂合金或具有六方紧密堆积 (HCP) 晶格的有序 Co_3Pt 合金。相反, 第一垂直磁性层 124 可以包括非晶 RE-TM 合金中的至少一种, 所述非晶 RE-TM 合金包括从由铁 (Fe)、钴 (Co) 和 / 或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种以及从由稀土铽 (Tb)、镝 (Dy) 和 / 或钆 (Gd) 组成的组中选择的至少一种。

[0092] 第一非磁性层 130 可以被布置在第一垂直磁性层 124 上。第一非磁性层 130 可以被形成有薄的厚度。例如, 第一非磁性层 130 可以被形成具有在约 $2 \text{ \AA}$ (埃) 至约 $20 \text{ \AA}$ (埃) 的范围内的厚度。第一非磁性层 130 可能不具有纹理。例如, 第一非磁性层 130 可以均匀地形成在第一垂直磁性层 124 上, 并且可能由于薄的厚度而不具有纹理。

[0093] 第一非磁性层 130 可以包括从包括非磁性过渡金属的非磁性金属元素中选择的至少一种。在实施例中, 第一非磁性层 130 可以形成有多个层。例如, 第一非磁性层 130 可以包括在垂直磁性层 124 上顺序堆叠的第一下金属化合物层 133、第一非磁性金属层 136 以及第一上金属化合物层 139。尽管在图 2 中没有示出, 但第一非磁性层 130 可以包括在第一垂直磁性层 124 上顺序堆叠的金属化合物层 / 非磁性金属层、或非磁性金属层 / 金属化合物层。非磁性金属层可以包括从由镁 (Mg)、铝 (Al)、钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、钽 (Ta)、金 (Au)、银 (Ag)、钯 (Pd)、铑 (Rh)、铱 (Ir)、钼 (Mo)、钒 (V)、钨 (W)、铌 (Nb)、锆 (Zr)、钇 (Y) 和 / 或铪 (Hf) 组成的组中选择的至少一种。第一下金属化合物层 133 和第一上金属化合物层 139 可以是金属氧化物、金属氮化物或其组合。例如, 金属化合物层可以是金属层的化合物。相反, 第一非磁性层 130 可以包括仅单个金属层或多个金属层。

[0094] 可以在第一非磁性层 130 上顺序堆叠第一结磁性层 141、隧道势垒 145 和第二结磁性层 149。第一结磁性层 141、隧道势垒 145 和第二结磁性层 149 可以构成磁性隧道结。第

一结磁性层 141 可以通过第一非磁性层 130 来与第一垂直磁性层 123 进行强交换耦合。由此可以增强第一结磁性层 141 的垂直磁各向异性。第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 可以包括软磁性材料。当磁存储器单元操作时,第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 中的一个可以用作基准层,并且另一个可以用作自由层。用作自由层的结磁性层可以具有比用作基准层的结磁性层更低的饱和磁化强度。

[0095] 第二非磁性层 150 可以被布置在第二结磁性层 149 上。第二非磁性层 150 可以被形成有薄的厚度。例如,第二非磁性层 150 可以被形成具有在约 $2\text{\AA}$ (埃)至约 $20\text{\AA}$ (埃)的范围内的厚度。第二非磁性层 150 可能不具有纹理。例如,第二非磁性层 150 可以均匀地形成在第二结磁性层 149 上,并且可能由于薄的厚度而不具有纹理。

[0096] 第二垂直磁性层 163 可以被布置在第二非磁性层 150 上。第二垂直磁性层 163 可以被构造为使得它具有与衬底 100 的平面垂直的磁化方向。例如,第二垂直磁性层 163 可以包括交替堆叠的非磁性层 161 和铁磁层 162,并且铁磁层 162 可以被形成有一个至数个原子的厚度。铁磁层 162 的磁化方向可以垂直于衬底 100 的平面。通过第二非磁性层 150,第二垂直磁性层 163 可以与第二结磁性层 149 交换耦合。

[0097] 覆盖层 170 可以被形成在第二垂直磁性层 163 上。覆盖层 170 可以包括从由钽(Ta)、铝(Al)、铜(Cu)、金(Au)、银(Ag)、钛(Ti)、钌(Ru)、镁(Mg)、氮化钽(TaN)和/或氮化钛(TiN)组成的组中选择的至少一种。

[0098] 参考图 3,将描述根据发明原理的实施例的磁存储器件的一个修改示例。在衬底 100 和下电极 110 上顺序地堆叠籽晶层 115 和第一垂直磁性层 124。籽晶层 115 可以包括单个金属层和多个金属层。第一垂直磁性层 124 可以包括具有垂直于衬底 100 的平面并易于磁化的轴的材料。第一垂直磁性层 124 可以包括从由具有 L10 晶体结构的材料、具有六方紧密堆积(HCP)晶格的材料、以及非晶 RE-TM 合金组成的组中选择的至少一种。当第一垂直磁性层 124 包括非晶 RE-TM 合金时,可以省略籽晶层 115。

[0099] 第一非磁性层 130 可以被布置在第一垂直磁性层 124 上。第一非磁性层 130 可以被形成有薄的厚度。例如,第一非磁性层 130 可以被形成具有在约 $2\text{\AA}$ (埃)至约 $20\text{\AA}$ (埃)的范围内的厚度。第一非磁性层 130 可能不具有纹理。

[0100] 第一非磁性层 130 可以包括从包括非磁性过渡金属的非磁性金属元素中选择的至少一种。在实施例中,第一非磁性层 130 可以形成有多个层。例如,第一非磁性层 130 可以包括在垂直磁性层 124 上顺序堆叠的第一下金属化合物层 133、第一非磁性金属层 136 以及第一上金属化合物层 139。与图示不同,第一非磁性层 130 可以包括在第一垂直磁性层 124 上顺序堆叠的金属化合物层/非磁性金属层或非磁性金属层/金属化合物层。相反,第一非磁性层 130 可以包括仅单个金属层或多个金属层。第一垂直磁性层 123 可以通过第一非磁性层 130 来与第一结磁性层 141 交换耦合。

[0101] 可以在第一非磁性层 130 上顺序堆叠第一结磁性层 141、隧道势垒 145 和第二结磁性层 149。第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 可以包括软磁性材料。当磁存储器单元操作时,第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 中的一个可以用作基准层,而另一个可以用作自由层。用作自由层的结磁性层可以具有比用作基准层的结磁性层更小的饱和磁化强度。

[0102] 第二非磁性层 150 可以被布置在第二结磁性层 149 上。第二非磁性层 150 可以被

形成有薄的厚度。例如,第二非磁性层 150 可以被形成具有在约 $2\text{\AA}$ (埃) 至约 $20\text{\AA}$ (埃) 的范围内的厚度。第二非磁性层 150 可能不具有纹理。

[0103] 第二垂直磁性层 164 可以被布置在第二非磁性层 150 上。第二垂直磁性层 164 可以被构造为使得它具有垂直于构成磁性隧道结的第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 的平面的磁化方向。第二垂直磁性层 164 可以通过第二非磁性层 150 与第二结磁性层 149 交换耦合。例如,第二垂直磁性层 164 可以包括非晶 RE-TM 合金。覆盖层 170 可以被布置在第二垂直磁性层 164 上。

[0104] 参考图 4A 和图 4C 以及图 1,将描述用于形成根据本发明原理的实施例的磁存储器件的方法。可以省略参考图 1 的一些描述。

[0105] 参考图 4A,下电极 110 可以被形成在衬底 100 上。下电极 110 可以被形成在衬底 100 上和 / 或衬底 100 中。

[0106] 可以在下电极 110 上交替地堆叠非磁性层 121 和铁磁层 122。非磁性层 121 和铁磁层 122 的堆叠数目可以在约 2 次至约 20 次的范围内。铁磁层 122 可以被形成有一个至数个原子的厚度。非磁性层 121 和铁磁层 122 可以构成第一垂直磁性层 123。

[0107] 参考图 4B,可以在第一垂直磁性层 123 上形成第一下金属化合物层 133。可以在第一垂直磁性层 123 上薄薄地形成金属层,接着进行氧化和 / 或氮化,以形成第一下金属化合物层 133。金属层可以包括从例如过渡金属中选择的至少一种。

[0108] 可以在第一下金属化合物层 133 上形成第一非磁性金属层 136。第一非磁性金属层 136 可以包括从非磁性金属例如非磁性过渡金属中选择的至少一种。例如,第一非磁性金属层 136 和第一下金属化合物层 133 可以包括从由镁 (Mg)、铝 (Al)、钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、钽 (Ta)、金 (Au)、银 (Ag)、钯 (Pd)、铑 (Rh)、铱 (Ir)、钼 (Mo)、钒 (V)、钨 (W)、铌 (Nb)、锆 (Zr)、钇 (Y) 和 / 或铪 (Hf) 组成的组中选择的至少一种。第一非磁性金属层 136 可以包括与第一下金属化合物层 133 相同的金属。

[0109] 参考图 4C,在第一非磁性金属层 136 上形成第一上金属化合物层 139。第一上金属化合物层 139 可以通过对第一非磁性金属层 136 的顶面进行氧化或氮化来形成。为了氧化或氮化,可以在第一上金属化合物层 139 的顶面上提供少量氧化气体和 / 或氮化气体。相反,可以在第一非磁性金属层 136 上形成单独的金属层,随后进行氧化和 / 或氮化,以形成第一上金属化合物层 139,或者可以淀积单独的金属化合物层,以形成第一上金属化合物层 139。

[0110] 可以在第一上金属化合物层 139 上顺序地形成第一结磁性层 141、隧道势垒 145 和第二结磁性层 149。第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 可以包括软磁材料。在一实施例中,第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 可以包括具有彼此不同的饱和磁化强度的材料。第一和第二结磁性层 149 可以以非晶状态形成。在实施例中,可以进一步包括用于对第一结磁性层 149 的顶部进行氧化的工艺。

[0111] 隧道势垒 145 可以包括从由镁 (Mg)、钛 (Ti)、铝 (Al)、镁-锌 (MgZn) 和 / 或镁-硼 (MgB) 的氧化物、和 / 或钛 (Ti) 和 / 或钒 (V) 的氮化物组成的组中选择的至少一种。相反,隧道势垒 145 可以包括多个层。该多个层可以是金属层、金属氧化物层、金属氮化物层、和 / 或金属氮氧化物层组成的组中选择的至少两个层。隧道势垒 145 可以具有预定的晶体结构,例如,NaCl 型晶体结构。

[0112] 可以在隧道势垒 145 上形成第二结磁性层 149。当第二结磁性层 149 用作磁存储器单元的自由层时,第二结磁性层 149 可以具有比第一结磁性层 141 更小的饱和磁化强度。替代地,第二结磁性层 149 的铁 (Fe) 含量可以大于或至少等于第一结磁性层 141 的铁 (Fe) 含量。

[0113] 可以对第二结磁性层 149 的顶面进行氧化和 / 或氮化。由此可以在第二结磁性层 149 的顶部中形成预先下 (pre-lower) 金属化合物层 152。可以以与第一非磁性金属层 136 的顶面相同的方式,对第二结磁性层 149 的顶面进行氧化和 / 或氮化。相反,可以省略第二结磁性层 149 的氧化和 / 或氮化工序。

[0114] 可以在第二结磁性层 149 和预先下金属化合物层 152 上形成第二非磁性金属层 156。第二非磁性金属层 156 可以包括从由镁 (Mg)、铝 (Al)、钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、钽 (Ta)、金 (Au)、银 (Ag)、钯 (Pd)、铑 (Rh)、铱 (Ir)、钼 (Mo)、钒 (V)、钨 (W)、铌 (Nb)、锆 (Zr)、钇 (Y) 和 / 或铪 (Hf) 组成的组中选择的至少一种。

[0115] 再次参考图 1,在第二非磁性金属层 156 上形成第二上金属化合物层 159。可以通过对第二非磁性金属层 156 的顶面进行氧化或氮化来形成第二上金属化合物层 159。为了进行氧化或氮化,可以在第二上金属化合物层 159 的顶面上提供少量氧化气体和 / 或氮化气体。相反,可以在第二非磁性金属层 156 上形成单独的金属层,随后进行氧化和 / 或氮化,以形成第二上金属化合物层 159,或者可以沉积单独的金属化合物层以形成第二上金属化合物层 159。

[0116] 可以在第二上金属化合物层 159 上交替地堆叠非磁性层 161 和铁磁层 162。铁磁层 162 可以被形成有一个至数个原子的厚度。非磁性层 161 和铁磁层 162 可以被包括在第二垂直磁性层 163 中。第二垂直磁性层 163 中的非磁性层 161 和铁磁层 162 的堆叠数目可以不同于第一垂直磁性层 123 中的非磁性层 121 和铁磁层 122 的堆叠数目。

[0117] 在形成第二垂直磁性层 163 之前和 / 或之后,可以执行退火工艺。通过退火工艺,可以使非晶的第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 结晶成隧道势垒 145 的籽晶层。退火工艺可以是磁退火工艺或另一退火工艺。当隧道势垒 145 用作籽晶层时,隧道势垒 145 可以具有与第一结层 141 和第二结层 149 类似的晶体结构。替代地,接触隧道势垒 145 的第一结层 141 和第二结层 149 的面可以具有与隧道势垒的面等同的晶面。例如,当隧道势垒 145 的顶面和底面与 NaCl 型晶体结构的 (001) 晶面对应时,接触隧道势垒 145 的第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 的面可以是体心立方结构的 (001) 晶面。

[0118] 在退火期间,第一非磁性层 130 和第二非磁性层 150 可以防止第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 沿不同于隧道势垒 145 的层的晶体结构而结晶。例如,当省略第一非磁性层 130 和第二非磁性层 150 时,第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 的结晶可能受到第一垂直磁性层 123 和第二垂直磁性层 163 的影响。在该情况下,第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 可能不具有与隧道势垒 145 相同的晶体结构和 / 或晶面。当第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 具有不同于隧道势垒 145 的晶体结构和 / 或晶面时,可以显著地降低包括这些的磁性隧道结的电阻比率。然而,当根据发明原理的实施例,第一非磁性层 130 和第二非磁性层 150 分别插入在第一垂直磁性层 123 与第一结磁性层 141 之间和 / 或在第二垂直磁性层 163 与第二结磁性层 140 之间时,第一垂直磁性层 123 和第二垂直磁性层 163 可以不用作用于第一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 的结晶的籽晶层。因此,第

一结磁性层 141 和第二结磁性层 149 的晶体结构可以与隧道势垒 145 的晶体结构对准。因此,可以提高包括这些的磁性隧道结的磁阻比。

[0119] 可以在第二垂直磁性层 163 上形成覆盖层 170。覆盖层 170 可以包括从由钽 (Ta)、铝 (Al)、铜 (Cu)、金 (Au)、银 (Ag)、钛 (Ti)、钌 (Ru)、镁 (Mg)、氮化钽 (TaN) 和 / 或氮化钛 (TiN) 组成的组中选择的至少一种。

[0120] 可以对第一垂直磁性层 123、第一非磁性层 130、第一结磁性层 141、隧道势垒 145、第二结磁性层 149、第二非磁性层 150、第二垂直磁性层 163 和覆盖层 170 进行图案化。可以通过从包括光刻和 / 或电子束图案化的各种图案化工艺中选择的一种工艺来执行该图案化。在形成所有的层之后,或者在形成一些层之后,可以执行图案化。当仅对一些层进行图案化时,可以在形成其他的层之后执行另外的图案化。

[0121] 参考图 2,将描述用于形成根据发明原理的实施例的磁存储器件的修改示例的方法。省略参考图 1 所述的用于形成元件的方法的描述。

[0122] 可以在衬底 100 上形成籽晶层 115。籽晶层 115 可以包括单个金属层或多个金属层。籽晶层 115 可以包括具有预定晶体结构的金属层。例如,籽晶层 115 可以具有从由体心立方晶格 (BCC)、面心立方晶格 (FCC)、和六方紧密堆积 (HCP) 晶格组成的组中选择的至少一个晶体结构。

[0123] 可以在籽晶层 115 上形成第一垂直磁性层 124。可以使用籽晶层 115 作为籽晶来沉积第一垂直磁性层 124。使用籽晶层 115 作为籽晶沉积的第一垂直磁性层 124 可以具有 HCP 或 L10 晶体结构。当第一垂直磁性层 124 由非晶 RE-TM 合金形成时,可以省略籽晶层 115。

[0124] 参考图 3,将描述用于形成根据本发明原理的实施例的磁存储器件的修改示例的方法。省略参考图 1 和图 2 所述的用于形成元件的方法的描述。

[0125] 在第二非磁性层 150 上形成第二垂直磁性层 164。第二垂直磁性层 164 可以包括例如非晶 RE-TM 合金。尽管未示出,但是第二垂直磁性层 164 可以包括多个铁磁层。非磁性金属层可以插入在铁磁层之间。在铁磁材料层具有垂直磁化方向的范围内,可以以各种形状修改第二垂直磁性层 164。

[0126] (第二实施例)

[0127] 参考图 5,将描述根据本发明原理的第二实施例的磁存储器件。

[0128] 下电极 210 被布置在衬底 200 上。衬底 200 可以是基于半导体的半导体衬底。衬底 200 可以包括导电区和 / 或绝缘区。下电极 210 可以被电连接到衬底 200 的导电区。下电极 210 可以被布置在衬底 200 上和 / 或衬底 200 中。下电极 210 可以具有从由线、岛和或板组成的组中选择的任何一种。

[0129] 钉扎层 226 被布置在下电极 210 上。钉扎层可以包括反铁磁材料。例如,钉扎层 226 可以包括从由 PtMn、IrMn、FeMn、NiMn、MnO、MnS、MnTe、MnF₂、FeF₂、FeCl₂、FeO、CoCl₂、CoO、NiCl₂、NiO 和 / 或 Cr 组成的组中选择的至少一种。钉扎层 226 可以将邻近磁性层的磁化方向固定在一个方向上。

[0130] 可以在钉扎层 226 上提供下基准层 227。下基准层 227 可以包括铁磁材料。例如,下基准层 227 可以包括从由 CoFeB、Fe、Co、Ni、Gd、Dy、CoFe、NiFe、MnAs、MnBi、MnSb、CrO₂、MnOFe₂O₃、FeOFe₂O₃、NiOFe₂O₃、CuOFe₂O₃、EuO 和 / 或 Y₃Fe₅O₁₂组成的组中选择的至少一种。可

以通过钉扎层 226 将下基准层 227 的磁化方向固定到一个方向。可以从与衬底 200 的平面平行的方向中选择一个方向。对于另一示例,下基准层 227 可以包括从由具有 L10 晶体结构的材料、具有 HCP 的材料、和非晶 RE-TM 合金组成的组中选择的至少一种。在该情况下,下基准层 227 的磁化方向可以与衬底 200 的平面垂直(正交)。

[0131] 基准交换耦合层 228 可以被布置在下基准层 227 上。基准交换耦合层 228 可以包括从由钌(Ru)、铱(Ir)、铬(Cr)和/或铑(Rh)组成的组中选择的至少一种。

[0132] 可以在基准交换耦合层 228 上形成上基准层 241。上基准层 241 可以包括铁(Fe)。上基准层 241 可以包括从由钴(Co)和/或镍(Ni)组成的组中选择的至少一种。上基准层 241 可以进一步包括非磁性材料中的至少一种,所述非磁性材料包括硼(B)、锌(Zn)、铝(Al)、钛(Ti)、钌(Ru)、钽(Ta)、硅(Si)、银(Ag)、金(Au)、铜(Cu)、碳(C)和/或氮(N)。可以通过基准交换耦合层 228 将上基准层 241 与下基准层 227 交换耦合。

[0133] 可以在上基准层 241 上形成隧道势垒 245。隧道势垒 245 可以包括非磁材料。隧道势垒 245 可以包括从由镁(Mg)、钛(Ti)、铝(Al)、镁-锌(MgZn)和/或镁-硼(MgB)的氧化物、和/或钛(Ti)和/或钒(V)的氮化物组成的组中选择的至少一种。例如,隧道势垒 245 可以是氧化镁(MgO)层。相反,隧道势垒 245 可以包括多个层,包括金属层和金属化合物层。

[0134] 隧道势垒 245 可以具有与上基准层 241 类似的晶体结构。例如,隧道势垒 245 和上基准层 241 可以分别具有 NaCl 型晶体结构和体心立方结构。隧道势垒 245 和上基准层 241 之间的界面可以包括相同的晶面。例如,隧道势垒 245 的(001)晶面可以包括上基准层 241 的(001)晶面。

[0135] 下自由层 249 可以被布置在隧道势垒 245 上。下自由层 249 可以包括铁(Fe)。下自由层 249 可以包括从由钴(Co)和/或镍(Ni)组成的组中选择的至少一种。上基准层 241 可以进一步包括非磁性材料中的至少一种,所述非磁性材料包括硼(B)、锌(Zn)、铝(Al)、钛(Ti)、钌(Ru)、钽(Ta)、硅(Si)、银(Ag)、金(Au)、铜(Cu)、碳(C)和/或氮(N)。

[0136] 下自由层 249 中的铁(Fe)含量可以高于上基准层 241 中的铁(Fe)含量。可以通过下自由层 249 中的高铁含量,来增强包括上基准层 241 和下自由层 249 的磁存储器单元的可靠性。当在构成磁性隧道结的基准层和自由层之间基准层中的铁含量高时,包括该磁性隧道结的磁存储器单元可能显示异常的切换行为。在一个示例中,包括相对低的铁含量的自由层的磁化方向可能不保持在与基准层的磁化方向平行的方向上。因此,当将磁存储器单元切换到平行状态(其中自由层的磁化方向平行于基准层的磁化方向的状态)时,可能异常地反转自由层的磁化方向。由于这些异常切换现象,可能降低包括自由层的磁存储器单元的可靠性。然而,根据发明原理的实施例,下自由层 249 可以具有比上基准层 241 更高的铁含量。因此,将磁存储器单元切换到平行状态的动作中,下自由层 249 的磁化方向可以稳定地保持处于平行于上基准层 241 的磁化方向的状态中。下自由层 249 的磁化方向可以不被异常地反转。因此,可以增强包括下自由层 249 的磁存储器单元的可靠性。

[0137] 自由交换耦合层 265 可以被布置在下自由层 249 上。自由交换耦合层 265 可以包括从由钌(Ru)、铱(Ir)、铬(Cr)、和/或铑(Rh)组成的组中选择的至少一种。

[0138] 上自由层 266 可以被布置在自由交换耦合层 265 上。上自由层 266 可以包括铁磁材料。例如,上自由层 266 可以包括从由 CoFeB、Fe、Co、Ni、Gd、Dy、CoFe、NiFe、MnAs、MnBi、

MnSb、CrO₂、MnOFe₂O₃、FeOFe₂O₃、NiOFe₂O₃、CuOFe₂O₃、EuO 和 / 或 Y₃Fe₅O₁₂ 组成的组中选择的至少一种。当磁存储器单元操作时,可以将上自由层 266 的磁化方向改变成平行于衬底 200 的平面的第一方向或第二方向。对于另一示例,上自由层 266 可以包括从非晶 RE-TM 合金中选择的至少一种。在该情况下,当磁存储器单元操作时,可以将上自由层 266 的磁化方向改变成垂直于衬底 200 的平面的第一方向或第二方向。可以通过自由交换耦合层 265 来将上自由层 266 与下自由层 249 交换耦合。

[0139] 覆盖层 270 可以被布置在上自由层 266 上。覆盖层 270 可以包括从由钽 (Ta)、铝 (Al)、铜 (Cu)、金 (Au)、银 (Ag)、钛 (Ti)、氮化钽 (TaN) 和 / 或氮化钛 (TiN) 组成的组中选择的至少一种。

[0140] 尽管未示出,但可以改变下自由层 249 和上自由层 266 以及下基准层 227 和上基准层 241 的位置。例如,下自由层 249 和上自由层 266 可以被布置在隧道势垒 245 以下,并且下基准层 227 和上基准层 241 可以被布置在隧道势垒 245 以上。在该情况下,可以在下电极 210 和隧道势垒 245 之间顺序地堆叠上自由层 266、自由交换耦合层 265 以及下自由层 249,同时可以在隧道势垒 245 和覆盖层 270 之间顺序地堆叠上基准层 241、基准交换耦合层 228 以及下基准层 227。

[0141] 参考图 6,将描述根据发明原理的第二实施例的磁存储器件的修改示例。可以省略参考图 5 所述的元件的描述。

[0142] 垂直下基准层 223 可以被布置在下电极 210 上。垂直下基准层 223 可以包括交替堆叠的非磁性层 221 和铁磁层 222。铁磁层 222 可以包括从由铁 (Fe)、钴 (Co) 和 / 或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种,而非磁性层 221 可以包括从由铬 (Cr)、铂 (Pt)、钯 (Pd)、铱 (Ir)、钌 (Ru)、铑 (Rh)、锇 (Os)、铼 (Re)、金 (Au) 和 / 或铜 (Cu) 组成的组中选择的至少一种。例如,垂直下基准层 223 可以包括 [Co/Pt]_m、[Co/Pd]_m 或 [Ni/Pt]_m (m 是每层的堆叠数目,并且是 2 或更大的自然数)。在一些实施例中,非磁性层 221 和铁磁层 222 可以分别被堆叠约 2 至约 20 次。当电流在垂直于衬底 200 和垂直下基准层 223 的平面的方向上流动时,垂直下基准层 223 可以被构造使得它具有平行于电流的磁化方向。对于该构造,铁磁层 222 可以被薄薄地形成有一个至数个原子层的厚度。

[0143] 垂直上自由层 263 可以被布置在下自由层 249 上。垂直上自由层 263 可以包括交替堆叠的非磁性层 261 和铁磁层 262。铁磁层 262 可以包括从由铁 (Fe)、钴 (Co) 和 / 或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种,而非磁性层 261 可以包括从由铬 (Cr)、铂 (Pt)、钯 (Pd)、铱 (Ir)、钌 (Ru)、铑 (Rh)、锇 (Os)、铼 (Re)、金 (Au) 和 / 或铜 (Cu) 组成的组中选择的至少一种。例如,垂直上自由层 263 可以包括 [Co/Pt]_n、[Co/Pd]_n 和 / 或 [Ni/Pt]_n (n 是每层的堆叠数目,并且是 2 或更大的自然数)。在一些实施例中,非磁性层 261 和铁磁层 262 可以分别被堆叠约 2 至约 20 次。垂直上自由层 263 中的非磁性层 261 和铁磁层 262 的堆叠数目 n 可以小于垂直下基准层 223 中的非磁性层 221 和铁磁层 222 的堆叠数目 m。

[0144] 再次参考图 5,将描述用于形成根据本发明原理的第二实施例的磁存储器件的方法。下电极 210 被形成在衬底 200 上。下电极 210 可以被形成在衬底 200 上和 / 或衬底 200 中。

[0145] 钉扎层 226 被形成在下电极 210 上。钉扎层 226 可以包括反铁磁材料。在一些实施例中,可以形成籽晶层作为对钉扎层 226 的替代。籽晶层可以包括具有预定晶体结构的

金属或金属合金。

[0146] 可以在钉扎层 226 上形成下基准层 227。下基准层 227 可以包括铁磁材料。例如,下基准层 227 可以包括从由 CoFeB、Fe、Co、Ni、Gd、Dy、CoFe、NiFe、MnAs、MnBi、MnSb、CrO₂、MnOFe₂O₃、FeOFe₂O₃、NiOFe₂O₃、CuOFe₂O₃、EuO 和 / 或 Y₃Fe₅O₁₂组成的组中选择的至少一种。对于另一示例,下基准层 227 可以包括从由具有 L10 晶体结构的材料、具有六方紧密堆积 (HCP) 晶格的材料、和非晶 RE-TM 合金组成的组中选择的至少一种。

[0147] 基准交换耦合层 228 可以被形成在下基准层 227 上。基准交换耦合层 228 可以包括从由钌 (Ru)、铱 (Ir)、铬 (Cr) 和 / 或铑 (Rh) 组成的组中选择的至少一种。

[0148] 可以在基准交换耦合层 228 上形成上基准层 241、隧道势垒 245 和下自由层 249。可以以非晶状态形成上基准层 241 和下自由层 249,而以 NaCl 型晶体状态形成隧道势垒 245。通过后续退火工艺,上基准层 241 和下自由层 249 的晶体结构可以与隧道势垒 245 的晶体结构对准。

[0149] 可以在下自由层 249 上形成自由交换耦合层 265。基准交换耦合层 228 可以包括从由钌 (Ru)、铱 (Ir)、铬 (Cr) 和 / 或铑 (Rh) 组成的组中选择的至少一种。

[0150] 上自由层 266 可以被形成在自由交换耦合层 265 上。上自由层 266 可以包括铁磁材料。覆盖层 270 可以被形成在上自由层 266 上。

[0151] 对在下电极 210 上堆叠的层进行图案化。可以通过从包括光刻和电子束的各种图案化工艺中选择的至少一种工艺来执行图案化。在形成所有层之后,或在形成一些层之后,执行图案化。当仅图案化一些层时,可以在形成其他层之后执行另外的图案化。

[0152] 参考图 6,将描述用于形成根据发明原理的第二实施例的磁存储器件的修改示例的方法。省略先前在图 5 中所述的用于形成元件的方法的描述。

[0153] 可以在下电极 210 上交替地堆叠非磁性层 221 和铁磁层 222。铁磁层 222 被沉积有 1 个至若干原子的厚度。在下电极 210 上形成的非磁性层 221 和铁磁层 222 可以构成垂直下基准层 223。

[0154] 可以在下自由层 249 上交替地堆叠非磁性层 261 和铁磁层 262。铁磁层 262 被形成有 1 个至数个原子的厚度。在下自由层 249 上形成的非磁性层 221 和铁磁层 222 可以构成垂直上自由层 263。

[0155] 在垂直下基准层 223 中的非磁性层 221 和铁磁层 222 的堆叠数目可以大于在垂直上自由层 262 中的非磁性层 261 和铁磁层 262 的堆叠数目。

[0156] (第三实施例)

[0157] 参考图 7,将描述根据发明原理的第三实施例的磁存储器件。将下电极 320 布置在衬底 310 上。衬底 310 可以是包括基于半导体元素的衬底和基于金属化合物的衬底的各种衬底中选择的任何一种衬底。衬底 310 可以包括导电区和 / 或绝缘区。尽管下电极 320 被图示为被布置在衬底 310 上,但电极可以被包括在衬底 310 中。下电极 320 可以是电极或电极接触件。下电极 320 可以被电连接到衬底 310 中的导电区。例如,下电极 320 可以被电连接到从衬底 310 中的包括晶体管和二极管的开关装置中选择的至少一个开关装置。

[0158] 籽晶层 330 被布置在衬底 310 上。籽晶层 330 可以包括构成六方紧密堆积 (HCP) 晶格的金属原子。如图 9 中所示,HCP 可以是包括三个 a 轴、与 a 轴构成六边形平面的三个 b 轴、以及基本上垂直于六边形平面的 c 轴的晶格。由 a 轴和 b 轴构成的六边形平面可以基

本上平行于衬底 310 的平面,而 c 轴可以基本上垂直于衬底 310 的平面。构成籽晶层 330 的晶体结构的 (001) 晶面可以平行于衬底 310 的平面。薄薄地形成籽晶层 330。例如,籽晶层 330 可以被形成具有在约 10 Å (埃) 至约 100 Å (埃) 的范围内的厚度。籽晶层 330 可以包括钌 (Ru) 或钛 (Ti)。相反,籽晶层 330 可以包括构成面心立方 (FCC) 晶格的金属原子。例如,籽晶层 330 可以包括铂 (Pt)、钯 (Pd)、金 (Au)、银 (Ag)、铜 (Cu) 和 / 或铝 (Al)。

[0159] 自由磁性物质 340 可以被布置在籽晶层 330 上。自由磁性物质 340 可以包括接触籽晶层 330 的垂直自由磁性层 342 以及垂直自由磁性层 342 上的结自由磁性层 348。与图示不同,垂直自由磁性物质 342 和结自由磁性层 348 可以包括多个层。

[0160] 垂直自由磁性层 342 可以包括铁磁材料。包括在垂直自由磁性层 342 中的原子可以构成 HCP 晶格。如图 9 中所示,垂直自由磁性层 342 的 HCP 晶格可以包括 a 轴、b 轴和 c 轴。构成垂直自由磁性层 342 的 HCP 晶格的 c 轴可以基本上垂直于衬底 310 的平面。构成垂直自由磁性层 342 的 HCP 晶格的 (001) 平面可以平行于衬底 310 的平面。垂直自由磁性层 342 的易于磁化的轴可以是 c 轴。因此,垂直自由磁性层 342 的磁化方向可以垂直于衬底 310。垂直自由磁性层 342 可以在垂直于衬底 310 的平面的方向上具有磁各向异性。

[0161] 垂直自由磁性层 342 的铁磁属性和晶格结构可能是于构成垂直自由磁性层 342 的原子的类型和 / 或原子的含量而导致的。

[0162] 在一些实施例中,垂直自由磁性层 342 可以包括具有在约 10% 原子百分比至约 45% 原子百分比的范围内的铂含量的无序钴-铂合金。垂直自由磁性层 342 中的铂原子含量可以在约 20% 原子百分比至约 30% 原子百分比的范围内。垂直自由磁性层 342 可以进一步包括非磁材料。例如,垂直自由磁性层 342 可以进一步包括从由硼 (B)、铬 (Cr) 和 / 或铜 (Cu) 组成的组中选择的至少一种。

[0163] 在其他实施例中,垂直自由磁性层 342 可以包括是有序合金的 Co_3Pt 。垂直自由磁性层 342 可以进一步包括非磁材料。例如,垂直自由磁性层 342 可以进一步包括从由硼 (B)、铬 (Cr)、硅 (Si) 和 / 或铜 (Cu) 组成的组中选择的至少一种。

[0164] 在其他实施例中,可以以多个层的形式形成垂直自由磁性层 342。在该情况下,垂直自由磁性层 342 可以包括在籽晶层 330 上顺序堆叠的具有 HCP 晶格的第一自由铁磁层以及第一自由铁磁层上的第二自由铁磁层。第一自由铁磁层可以是先前所述的垂直自由磁性层 342 的实施例中的一个,而第二自由铁磁层可以是包括从由铁 (Fe)、钴 (Co) 和 / 或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种和从稀土金属中选择的至少一种的合金。例如,稀土金属可以是来自由铽 (Tb)、镝 (Dy) 和 / 或钆 (Gd) 组成的组中选择的至少一种。相反,第二自由铁磁层可以是具有 L10 晶体结构的铁磁材料中选择的至少一种,所述铁磁材料包括 $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ 、 $\text{Fe}_{50}\text{Pd}_{50}$ 、 $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$ 、 $\text{Co}_{50}\text{Pd}_{50}$ 和 / 或 $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$ 。

[0165] 通过垂直自由磁性层 342 的晶体结构,即,垂直自由磁性层 342 的 HCP 晶格结构,垂直自由磁性层 342 可以具有高垂直磁各向异性。在该说明书中,垂直磁各向异性指在垂直于衬底 310 的平面的方向上的磁各向异性。可以增强包括垂直自由磁性层 342 的磁存储器件的可靠性,并且可以通过高垂直磁各向异性来降低磁存储器的操作功率。具体地,可以通过垂直自由磁性层 342,将传输穿过垂直自由磁性层 342 的电子中的许多电子的自旋方向对准到垂直于衬底 310 的平面的方向上。因此,传输穿过垂直自由磁性层 342 的电子中的许多电子基本上可以被用在磁存储器件的写操作中。因此,可以增强磁存储器件的可靠

性,并且可以使用相对少量的开关电流来操作磁存储器件。

[0166] 下交换耦合控制层 344 可以被布置在垂直自由磁性层 342 上。下交换耦合控制层 344 可以包括具有大的交换耦合常数的磁性材料或可以增加表面磁各向异性的非磁材料。例如,下交换耦合控制层 344 可以包括具有大交换耦合常数的铁 (Fe)、钴 (Co) 和 / 或镍 (Ni) 中的至少一种。下交换耦合控制层 344 可以进一步包括铂 (Pt)。下交换耦合控制层 344 的厚度可以在约 $2\text{\AA}$ (埃) 至约 $20\text{\AA}$ (埃) 的范围内。下交换耦合控制层 344 可以增强将描述的垂直自由磁性层 342 和结自由磁性层 348 之间的交换耦合。因为垂直自由磁性层 342 在垂直于衬底 310 的平面的方向上具有高磁各向异性,因此通过垂直自由磁性层 342 和下交换耦合控制层 344 交换耦合的结自由磁性层 348 在垂直于衬底 310 的平面的方向上也可以具有高磁各向异性。

[0167] 对于另一示例,下交换耦合控制层 344 可以包括从包括过渡金属的金属元素中选择的至少一种。下交换耦合控制层 344 可以包括从包括钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铑 (Rh)、铜 (Cu)、镁 (Mg)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钽 (Ta)、钯 (Pd) 和 / 或铂 (Pt) 的非磁性金属中选择的至少一种。因此,下交换耦合控制层 344 可以增加相邻磁性层的表面的垂直磁各向异性。

[0168] 在一实施例中,下交换耦合控制层 344 可以进一步包括在下交换耦合控制层 344 的表面上的氧化物层。该氧化物层可以是构成下交换耦合控制层 344 的表面的材料的氧化物。

[0169] 结自由磁性层 348 可以被布置在下交换耦合控制层 344 上。通过下交换耦合控制层 344 和 / 或垂直自由磁性层 342,结自由磁性层 348 可以具有高垂直各向异性。例如,可以通过具有高垂直各向异性的垂直自由磁性层 342 和下交换耦合控制层 344 来强交换耦合结自由磁性层 348。对于另一示例,可以通过包括非磁性金属的下交换耦合控制层 344 来增强结自由磁性层 348 的表面的垂直磁各向异性。

[0170] 结自由磁性层 348 可以包括软磁材料。结自由磁性层 348 可以具有低阻尼常数和高自旋极化率。例如,结自由磁性层 348 可以包括钴 (Co) 原子、铁 (Fe) 原子、和 / 或镍 (Ni) 原子。结自由磁性层 348 可以进一步包括包括硼 (B)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钛 (Ti)、钌 (Ru)、钽 (Ta)、硅 (Si)、银 (Ag)、金 (Au)、铜 (Cu)、碳 (C) 和 / 或氮 (N) 的非磁性材料中的至少一种。具体地,结自由磁性层 348 可以包括 CoFe 和 / 或 NiFe,并且可以进一步包括硼 (B)。为了进一步减小结自由磁性层 348 的饱和磁化强度,结自由磁性层 348 可以进一步包括从由钛 (Ti)、铝 (Al)、硅 (Si)、镁 (Mg)、钽 (Ta) 和 / 或硅 (Si) 组成的组中选择的至少一种。随着饱和磁化强度的减小,可以减少包括结自由磁性层 348 的磁存储器单元的开关电流。

[0171] 尽管未示出,结自由磁性层 348 可以包括多个磁性层。例如,结自由磁性层 348 可以包括在下交换耦合磁性层 344 上顺序堆叠的第一自由铁磁层、自由非磁性层以及第二自由铁磁层,即合成反铁磁 (SAF) 层。结自由磁性层 348 可以包括各种形状的具有可变磁化方向的磁性层。

[0172] 可以改变构成自由磁性物质 340 的多个层中的至少一个层的磁化方向。例如,结自由磁性层 348 可以具有可变磁化方向。通过从结自由磁性层 348 的外部提供的电和 / 或磁因素,可以将结自由磁性层 348 的磁化方向改变成垂直于衬底 310 的第一方向或反平行于该第一方向的第二方向。

[0173] 隧道势垒 350 可以被布置在自由磁性物质 340 上。隧道势垒 350 可以具有薄于自

旋扩散距离的厚度。隧道势垒 350 可以包括非磁性材料。在一些实施例中,隧道势垒 350 可以由绝缘材料层形成。例如,隧道势垒 350 可以包括从由镁 (Mg)/ 氧化镁 (MgO)、氧化镁 (MgO)/ 镁 (Mg)、和 / 或镁 (Mg)/ 氧化镁 (MgO)/ 镁 (Mg) 组成的组中选择的至少一种。

[0174] 基准磁性物质 360 可以被形成在隧道势垒 350 上。基准磁性物质 360 可以包括在隧道势垒 350 上顺序堆叠的结基准磁性层 361、上交换耦合控制层 362、和垂直基准磁性层 363。可以在垂直基准磁性层 363 上交替堆叠多个上基准非磁性层 364 和基准铁磁层 365。

[0175] 结基准磁性层 361 可以包括软磁材料。例如,结基准磁性层 361 包括钴 (Co)、铁 (Fe) 和 / 或镍 (Ni), 并且可以确定原子的含量使得可以降低结基准磁性层 361 的饱和磁化强度。结基准磁性层 361 可以具有低阻尼常数和自旋极化率。为此,结基准磁性层 361 可以进一步包括包括硼 (B)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钛 (Ti)、钌 (Ru)、钽 (Ta)、硅 (Si)、银 (Ag)、金 (Au)、铜 (Cu)、碳 (C) 和 / 或氮 (N) 的非磁性材料中的至少一种。例如,结基准磁性层 361 可以包括 CoFe 和 / 或 NiFe, 并且可以进一步包括硼。此外,结基准磁性层 361 可以进一步包括从包括钛 (Ti)、铝 (Al)、硅 (Si)、镁 (Mg) 和 / 或钽 (Ta) 的非磁性元素中选择的至少一种。结基准磁性层 361 中的选择的非磁性元素的含量可以在约 1% 原子百分比至约 15% 原子百分比的范围内。

[0176] 结自由磁性层 348、隧道势垒 350 和结基准磁性层 361 可以构成磁性隧道结。根据本发明原理的实施例的磁存储器单元可以通过使用构成磁性隧道结的两种磁性物质,结自由磁性层 348 和结基准磁性层 361, 的磁化方向彼此平行还是反平行的电阻值的差来存储数据。具体地,根据传输穿过磁性隧道结的电子的方向,可以改变结自由磁性层 348 的磁化方向。

[0177] 例如,当电子在从结自由磁性层 348 到结基准磁性层 361 的方向上移动时,具有在平行于结基准磁性层 361 的磁化方向的第一方向上的自旋的电子可以传输穿过结基准磁性层 361, 而具有在反平行于结基准磁性层 361 的磁化的第二方向上的自旋的电子不可传输穿过结基准磁性层 361 (例如反射) 并且被传送到结自由磁性层 348。通过具有第二方向上的自旋的电子,结自由磁性层 348 的磁化方向可以是第二方向。因此,结基准磁性层 361 和结自由磁性层 348 可以具有彼此反平行的磁化方向。由具有彼此反平行的磁化方向的磁性物质构成的磁性隧道结可以具有相对高的电阻值。在本实施例中,第一方向和第二方向可以是基本上垂直 (正交) 于衬底 310 的平面的方向。

[0178] 对于另一示例,当电子从结基准磁性层 361 移动到结自由磁性层 348 时,传输穿过结基准磁性层 361 的具有在第一方向上的自旋的电子可以到达结自由磁性层 348。通过已经到达结自由磁性层 348 的具有在第一方向上的自旋的电子,可以将结自由磁性层 348 的磁化方向改变成第一方向。因此,结基准磁性层 361 和结自由磁性层 348 可以具有第一方向上的磁化方向。由具有彼此平行的磁化方向的磁性物质构成的磁性隧道结可以具有相对低的电阻值。

[0179] 以该方式,磁性隧道结的电阻值可以根据流过磁性隧道结的电子的方向而变化。通过使用电阻值的差,可以将数据存储在磁存储器单元中。

[0180] 上交换耦合控制层 362 可以被布置在结基准磁性层 361 上。上交换耦合控制层 362 可以包括例如铁磁金属的具有大的交换耦合常数的材料、或例如非磁性金属的可以控制相邻磁性物质的定向的材料。例如,上交换耦合控制层 362 可以包括从由铁 (Fe)、钴 (Co) 和

/ 或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种。对于另一示例, 上交换耦合控制层 364 可以包括从由钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铑 (Rh)、铜 (Cu)、镁 (Mg)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钽 (Ta)、钯 (Pd) 和 / 或铂 (Pt) 组成的组中选择的至少一种。在一些实施例中, 上交换耦合控制层 362 可以进一步包括在上交换耦合控制层 362 的表面的氧化物层。该氧化物层可以通过上交换耦合控制层 362 的一些的氧化形成的层。上交换耦合控制层 362 的功能和构成可以与下交换耦合控制层 344 的功能和构成基本上相同。

[0181] 垂直基准磁性层 363 可以被布置在上交换耦合控制层 362 上。垂直基准磁性层 363 可以包括铁磁材料。构成垂直基准磁性层 363 的原子可以构成具有基本上垂直于衬底 310 的平面的易磁化轴的晶体结构。例如, 垂直基准磁性层 363 可以包括钴 (Co) 和 / 或铂 (Pt) 有序合金或无序合金, 并且 HCP 晶格的 c 轴可以垂直于衬底 310 的平面。因此, 可以显著地增强垂直基准磁性层 363 的垂直各向异性。垂直基准磁性层 363 可以进一步包括从由硼 (B)、铬 (Cr)、硅 (Si) 和 / 或铜 (Cu) 组成的组中选择的至少一种。

[0182] 上基准磁性层 364、365 可以被布置在上交换耦合控制层 363 上。上基准磁性层 364、365 可以包括交替堆叠的基准非磁性层 364 和基准铁磁层 365。基准非磁性层 364 可以包括从由铁 (Fe)、钴 (Co) 和 / 或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种, 而基准铁磁层 365 可以包括从由铬 (Cr)、铂 (Pt)、钯 (Pd)、铱 (Ir)、钌 (Ru)、铑 (Rh)、锇 (Os)、铼 (Re)、金 (Au) 和 / 或铜 (Cu) 组成的组中选择的至少一种。例如, 上基准磁性层 364、365 可以包括 [Co/Pb]_n、[Co/Pt]_n 或 [Ni/Pt]_n (n 是 2 或更大的自然数)。基准非磁性层 364 和基准铁磁层 365 的堆叠数目可以在约 2 次至约 11 次的范围内。基准铁磁层 365 可以被形成有非常薄的厚度。例如, 基准铁磁层 365 可以被形成有原子层厚度。基准铁磁层 365 的磁化方向可以垂直于衬底 310 的平面。

[0183] 可以以不同的形状来布置上基准磁性层 364、365。例如, 上基准磁性层 364、365 可以包括在垂直基准磁性层 363 上顺序堆叠的第一基准铁磁层、基准非磁性层和第二基准铁磁层, 即合成反铁磁 (SAF) 层。

[0184] 覆盖层 370 可以被布置在上基准磁性层 364、365 上。覆盖层 370 可以包括从由钽 (Ta)、铝 (Al)、铜 (Cu)、金 (Au)、银 (Ag)、钛 (Ti)、氮化钽 (TaN) 和 / 或氮化钛 (TiN) 组成的组中选择的至少一种。

[0185] 参考图 7 和图 8, 将描述用于形成根据本发明原理的第三实施例的磁存储器件的方法。可以省略参考图 7 先前所述的描述。

[0186] 参考图 8, 在衬底 310 上形成下电极 320。下电极 320 可以包括金属或金属化合物。

[0187] 籽晶层 330 被形成在下电极 320 上。籽晶层 330 可以包括具有 HCP 晶格或 FCC 晶格的金属。例如, 籽晶层 330 可以包括从由钌 (Ru)、钛 (Ti)、铂 (Pt)、钯 (Pd)、金 (Au)、银 (Ag)、铜 (Cu) 和 / 或铝 (Al) 组成的组中选择的至少一种。籽晶层 330 可以被形成有相对薄的厚度。例如, 籽晶层 330 可以被形成具有在约 **2Å** (埃) 至约 **20Å** (埃) 的范围内的厚度。

[0188] 在籽晶层 330 上形成垂直自由磁性层 342。垂直自由磁性层 342 的晶体结构可以与籽晶层 330 的晶体结构对准。例如, 垂直自由磁性层 342 可以被形成有等同于籽晶层 330 的晶体结构的 HCP 晶格。垂直自由磁性层 342 可以包括钴 (Co) 和 / 或铂 (Pt)。垂直自由磁性层 342 可以包括钴 (Co) 和铂 (Pt) 的有序合金或无序合金。

[0189] 可以通过相对低温工艺来形成将籽晶层 330 用作籽晶生长的垂直自由磁性层 342。例如,可以在室温下沉积通过将籽晶层 330 用作籽晶形成的垂直自由磁性层 342。

[0190] 在磁性物质的磁化方向垂直于衬底的磁存储器件的情况下,使用具有大的垂直各向异性的晶体结构的磁性物质,例如,由 L10 有序合金构成的铁磁物质。为了通过 L10 有序合金形成铁磁物质,可能需要包括具有 FCC 晶格的铬 (Cr) 籽晶层和具有 BCC 晶格的铂 (Pt) 籽晶层的多个籽晶层。比单个籽晶层更厚地形成多个层。因此,可能增加包括该籽晶层的器件的大小。在籽晶层的图案化工艺期间,可以由于籽晶层的蚀刻副产品而污染其他磁性层和绝缘层。具体地,当由于籽晶层的蚀刻副产品而污染稍后所述的隧道势垒时,在隧道势垒上可能出现短路现象而降低存储器的功能。此外,使用 400℃或更高的高温沉积工艺和/或使用 600℃或更高的高温退火工艺可以形成 L10 有序合金。

[0191] 相反,当根据本发明原理的实施例来形成具有 HCP 晶格的垂直自由磁性层 342 时,籽晶层 330 可能被形成为单个层。因此,籽晶层 330 的厚度可以比多个层的厚度薄。垂直自由磁性层 342 的晶体结构可能具有对籽晶层 330 的高依赖性。因此,即使在低工艺温度下,根据发明原理的实施例的垂直自由磁性层 342 也可以与籽晶层 330 的晶体结构对准。即,高温沉积工艺或高温退火工艺可能不是必要的。

[0192] 下交换耦合控制层 344 可以被形成在垂直自由磁性层 342 上。下交换耦合控制层 344 可以包括具有大的交换耦合常数的铁磁金属,例如,从包括铁 (Fe)、钴 (Co) 和/或镍 (Ni) 的金属中选择的至少一种。相反,下交换耦合控制层 344 可以包括非磁性材料,所述非磁性材料可以增强相邻磁性物质的表面磁各向异性,或者控制将在下交换耦合控制层 344 上形成的磁性物质的晶向。例如,下交换耦合控制层 344 可以包括从由钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铑 (Rh)、铜 (Cu)、镁 (Mg)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钽 (Ta)、钯 (Pd) 和/或铂 (Pt) 组成的组中选择的至少一种。在一些实施例中,可以氧化下交换耦合控制层 344 的表面。用于氧化的工艺可以包括在形成下交换耦合控制层 344 之前将极少量氧注入室中,在该室中,加载其中已经形成垂直自由磁性层 342 的产品;或者通过在形成具有原子层厚度的下交换耦合控制层 344 之后通过将极少量氧注入室中来形成氧化层,随后形成剩余的下交换耦合控制层 344。

[0193] 结自由磁性层 348 可以被形成在下交换耦合控制层 344 上。通过垂直自由磁性层 342 和/或下交换耦合控制层 344,可以增强结自由磁性层 348 的垂直各向异性。具体地,通过下交换耦合控制层 344 的晶体结构,可以防止和/或减少结自由磁性层 348 结晶为垂直自由磁性层 342 的晶体结构。例如,当省略下交换耦合控制层 344 时,通过加热工艺,以非晶状态形成的结自由磁性层 348 可以被结晶成垂直自由磁性层 342 的晶体结构。在该情况下,通过垂直自由磁性层 342 的晶体结构,即,除 BCC 结构的 (001) 晶面外的 (011) 晶面,可以对准结自由磁性层 348 的晶体结构,并且然后可以减小包括结自由磁性层 348 的磁性隧道结的磁阻比。然而,因为通过下交换耦合控制层 344 使垂直自由磁性层 342 与结自由磁性层 348 分开,因此结自由磁性层 348 的晶体结构可不与垂直自由磁性层 342 的晶体结构对准。因此,可以增强磁性隧道结的磁阻比。

[0194] 再次参考图 7,可以在结自由磁性层 348 上形成隧道势垒 350。隧道势垒可以包括从由镁 (Mg)、钛 (Ti)、铝 (Al)、镁-锌 (MgZn) 和/或镁-硼 (MgB) 的氧化物、和/或钛 (Ti) 和/或钒 (V) 的氮化物组成的组中选择的至少一种。例如,隧道势垒 350 可以是氧化

镁 (MgO) 层。相反,隧道势垒 350 可以包括多个层。例如,隧道势垒可以包括镁 (Mg)/氧化镁 (MgO)、氧化镁 (MgO)/镁 (Mg)、和 / 或镁 (Mg)/氧化镁 (MgO)/镁 (Mg)。隧道势垒 350 可以通过如下步骤形成:在结自由磁性层 348 上沉积金属氧化物或金属氮化物;或在结自由磁性层 348 上形成金属层,并且然后氧化该金属层。在实施例中,隧道势垒 350 可以具有预定晶体结构。例如,隧道势垒 350 可以具有 NaCl 型晶体结构(面心立方晶格结构)。

[0195] 结基准磁性层 361 可以被形成在隧道势垒 350 上。结基准磁性层 361 可以具有相对低的饱和磁化强度。结基准磁性层 361 可以包括软磁材料。结基准磁性层 361 可以进一步包括非磁材料。结基准磁性层 361 可以具有等同于结自由磁性层 348 的磁性属性的磁性属性。相反,结基准磁性层 361 可以具有不同于结自由磁性层 348 的磁性属性的磁性属性。例如,结基准磁性层 361 的厚度与结基准磁性层 361 的饱和磁化强度的乘积可以大于结自由磁性层 348 的厚度和结自由磁性层 348 的饱和磁化强度的乘积。

[0196] 结基准磁性层 361 的晶体结构可以与隧道势垒 350 对准。例如,当隧道势垒 350 由具有平行于衬底 310 的平面的 NaCl(面心立方晶格)结构的(001)晶面的氧化镁(MgO)形成时,结基准磁性层 361 可以与隧道势垒 350 的晶体结构对准。因此,可以增强结基准磁性层 361 的垂直磁各向异性。通过加热工艺可以执行结基准磁性层 361 的结晶。

[0197] 上交换耦合控制层 362 可以被形成在结基准磁性层 361 上。上交换耦合控制层 362 可以包括具有大的交换耦合常数的磁性材料。因此,可以增强垂直基准磁性层 363 与磁结基准磁性层 361 间的交换耦合,以增加结基准磁性层 361 的垂直磁各向异性。上交换耦合控制层 362 可以用作籽晶层,并且可以对准使得垂直基准磁性层 363 的易磁化轴垂直于衬底 310 的平面。在一些实施例中,可以氧化上交换耦合控制层 362 的表面。用于氧化的工艺可以包括在形成上交换耦合控制层 362 之前将极少量氧注入室中,在该室中,加载其中已经形成上结基准磁性层 361 的产品;或者通过在形成具有原子层厚度的上交换耦合控制层 362 之后将极少量氧注入室中来形成氧化层,然后形成其余的上交换耦合控制层 362。

[0198] 可以在结基准磁性层 361 上形成垂直基准磁性层 363。垂直基准磁性层 363 可以是非晶铁磁层。例如,垂直基准磁性层 363 可以由非晶钴(Co)和 / 或铂(Pt)合金形成。垂直基准磁性层 363 可以包括从由硼(B)、铬(Cr)、硅(Si)和 / 或铜(Cu)组成的组中选择的至少一种。

[0199] 可以在垂直基准磁性层 363 上形成上基准磁性层 364、365。可以将基准非磁性层 365 和基准铁磁层 365 交替堆叠多次以形成上基准磁性层 364、365。基准铁磁层 365 可以被形成有非常薄的厚度。例如,基准铁磁层 365 可以被形成有原子层厚度。

[0200] 可以以各种形式形成上基准磁性层 364、365。例如,上基准磁性层 364、365 可以包括在垂直基准磁性层 363 上顺序堆叠的第一基准铁磁层、基准非磁性层以及第二基准铁磁层,即,合成反铁磁(SAF)层。

[0201] 当将垂直基准磁性层 363 和 / 或上交换耦合控制层 362 插入在基准非磁性层 364 和结基准磁性层 361 之间时,可以增强包括结基准磁性层 361 的磁性隧道结的磁阻比。具体地,当基准非磁性层 364 直接形成在结基准磁性层 361 上时,在加热工艺期间,构成基准非磁性层 364 的金属可以与构成基准磁性层 361 的材料反应,以形成不具有磁性属性的层。由该不具有磁性属性的层,会显著地降低磁性隧道结的磁阻比。

[0202] 在一些实施例中,结基准磁性层 361 可以被薄薄地形成有等于或小于预定临界厚

度的厚度。在该情况下,可以通过与基准非磁性层 364 反应来消耗结基准磁性层 361,以便降低磁阻比。相反,因为根据发明原理的实施例,在垂直基准磁性层 361 和基准非磁性层 364 之间形成垂直基准磁性层 363 和 / 或上交换耦合控制层 362,可以不形成不具有磁性属性的层。因此,结基准磁性层 361 没有被不必要地消耗。因此,可以增强包括结基准磁性层 361 的磁性隧道结的磁阻比。

[0203] 覆盖层 370 可以被形成在上基准磁性层 364、365 上。覆盖层 370 可以包括从由钽 (Ta)、铝 (Al)、铜 (Cu)、金 (Au)、银 (Ag)、钛 (Ti)、氮化钽 (TaN)、和 / 或氮化钛 (TiN) 组成的组中选择的至少一种。

[0204] 可以图案化在衬底 310 上堆叠的层。在堆叠从下电极 310 到覆盖层 370 的所有层之后执行图案化,或者可以在堆叠其他层之前,执行一些层的图案化。可以使用离子束工艺和 / 或光刻工艺来执行图案化。图案化可以包括执行各向异性蚀刻过程。

[0205] (第四实施例)

[0206] 参考图 10,将描述根据发明原理的第四实施例的磁存储器件。下电极 420 被布置在衬底 410 上。衬底 410 可以包括导电区和 / 或绝缘区。下电极 420 可以被电连接到衬底 410 中的导电区。

[0207] 籽晶层 430 被布置在下电极 420 上。籽晶层 430 可以包括构成 HCP 晶格的金属原子。HCP c 轴可以基本上垂直于衬底 410 的平面。

[0208] 基准磁性物质 440 可以被布置在籽晶层 430 上。基准磁性物质 440 可以包括在籽晶层 430 上顺序堆叠的垂直基准磁性层 442、下交换耦合控制层 444 和 / 或结基准磁性层 448。

[0209] 垂直基准磁性层 442 可以包括铁磁材料。垂直基准磁性层 442 可以具有在垂直于衬底 410 的方向上的易磁化轴。例如,垂直基准磁性层 442 可以包括六方紧密堆积 (HCP) 晶格。如图 9 中所示,垂直基准磁性层 442 的六方紧密堆积 (HCP) 晶格可以包括 a 轴、b 轴和 c 轴。构成垂直基准磁性层 442 的 HCP 晶格的 c 轴可以基本上平行于构成籽晶层 430 的 c 轴。构成垂直基准磁性层 442 的 HCP 晶格的 c 轴可以基本上垂直于衬底 410 的平面。垂直基准磁性层 442 的易磁化轴可以是 c 轴。因此,垂直基准磁性层 442 的磁化方向可以垂直于衬底 410。

[0210] 在一个实施例中,垂直基准磁性层 442 可以包括具有在约 10% 原子百分比至约 45% 原子百分比的范围内的铂含量的钴 - 铂 (CoPt) 无序合金。垂直基准磁性层 442 的铂原子含量可以在约 20% 原子百分比至约 30% 原子百分比的范围中。垂直基准磁性层 442 可以进一步包括非磁材料。例如,垂直基准磁性层 442 可以进一步包括从由硼 (B)、铬 (Cr) 和 / 或铜 (Cu) 组成的组中选择的至少一种。

[0211] 在另一实施例中,垂直基准磁性层 442 可以包括是有序合金的 Co_3Pt 。垂直基准磁性层 442 可以进一步包括非磁材料。例如,垂直基准磁性层 442 可以进一步包括从由硼 (B)、铬 (Cr) 和 / 或铜 (Cu) 组成的组中选择的至少一种。

[0212] 在又一另外实施例中,垂直基准磁性层 442 可以包括多个层。在该情况下,垂直基准磁性层 442 可以包括在籽晶层 430 上顺序堆叠的具有 HCP 晶格的第一基准铁磁层以及在第一基准铁磁层上的第二基准铁磁层。第一基准铁磁层可以是前述的垂直基准磁性层 442 的各个实施例中选择一个,而第二基准铁磁层可以是包括从由铁 (Fe)、钴 (Co) 和 /

或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种和从稀土金属中选择的至少一种的合金。例如, 稀土金属可以是 从由铽 (Tb)、镝 (Dy) 和 / 或钆 (Gd) 组成的组中选择的至少一种。相反, 第二基准铁磁层 可以是 从具有 L10 晶体结构的铁磁材料中选择的至少一种, 所述铁磁材料包括 $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ 、 $\text{Fe}_{50}\text{Pd}_{50}$ 、 $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$ 、 $\text{Co}_{50}\text{Pd}_{50}$ 、和 / 或 $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$ 。通过垂直基准磁性层 442 的 HCP 结构, 垂直基准磁性层 442 可以具有高垂直各向异性。因此, 可以提高包括垂直基准磁性层 442 的磁存储器件的电阻扩散和开关电流属性。

[0213] 下交换耦合控制层 444 可以被布置在垂直基准磁性层 442 上。下交换耦合控制层 444 可以包括具有大的交换耦合常数的磁性材料或可以增加表面磁各向异性的非磁材料。例如, 下交换耦合控制层 444 可以包括来自具有大的交换耦合常数的铁 (Fe)、钴 (Co) 和 / 或镍 (Ni) 中的至少一种。下交换耦合控制层 444 可以进一步包括铂 (Pt)。下交换耦合控制层 444 的厚度可以在约 $2\text{\AA}$ (埃) 至约 $20\text{\AA}$ (埃) 的范围内。下交换耦合控制层 444 可以增强稍后将描述的垂直基准磁性层 442 和结基准磁性层 448 之间的交换耦合。因为如前所述垂直基准磁性层 442 具有高垂直各向异性, 通过垂直基准磁性层 442 和下交换耦合控制层 444 交换耦合的结基准磁性层 448 也可以具有高垂直各向异性。

[0214] 对另一示例, 下交换耦合控制层 444 可以包括从包括钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铑 (Rh)、铜 (Cu)、镁 (Mg)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钽 (Ta)、钯 (Pd) 和 / 或铂 (Pt) 的非磁性金属中选择的至少一种。非磁性金属可以控制相邻磁性层的晶体结构的定向。在一些实施例中, 下交换耦合控制层 444 可以进一步包括在下交换耦合控制层 444 的表面上的氧化层。该氧化层可以是对下交换耦合控制层 444 的表面进行氧化的层。通过下交换耦合控制层 444, 可以增强相邻磁性层的表面磁各向异性。

[0215] 可以在结基准磁性层 448 上形成隧道势垒 450。隧道势垒 450 可以包括从由镁 (Mg)、钛 (Ti)、铝 (Al)、镁-锌 (MgZn) 和 / 或镁硼 (MgB) 的氧化物、和 / 或钛 (Ti) 和 / 或钒 (V) 的氮化物组成的组中选择的至少一种。隧道势垒 450 可以包括多个层。例如, 隧道势垒 450 可以包括镁 (Mg)/氧化镁 (MgO)、氧化镁 (MgO)/镁 (Mg)、和 / 或镁 (Mg)/氧化镁 (MgO)/镁 (Mg)。

[0216] 自由磁性物质 460 可以被布置在隧道势垒 450 上。自由磁性物质 460 可以包括接触隧道势垒 450 的结自由磁性层 461、结自由磁性层 461 上的交换耦合控制层 463 以及在上交换耦合控制层 463 上的上自由磁性层 466。

[0217] 结自由磁性层 461 可以包括软磁材料。结自由磁性层 461 可以具有低饱和磁化强度。结自由磁性层 461 还可以具有低阻尼常数和自旋极化率。结自由磁性层 461 可以包括从由钴 (Co)、铁 (Fe) 和 / 或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种。结自由磁性层 461 可以进一步包括包括硼 (B)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钛 (Ti)、钌 (Ru)、钽 (Ta)、硅 (Si)、银 (Ag)、金 (Au)、铜 (Cu)、碳 (C) 和 / 或氮 (N) 的非磁性材料中的至少一种。

[0218] 例如, 结自由磁性层 461 可以包括 CoFe 和 / 或 NiFe , 并且可以进一步包括硼 (B)。此外, 结自由磁性层 461 可以进一步包括从包括钛 (Ti)、铝 (Al)、硅 (Si)、镁 (Mg) 和 / 或钽 (Ta) 的非磁性材料中的至少一种。在结自由磁性层 461 中的选择的非磁性元素的含量可以在约 1% 原子百分比至约 15% 原子百分比的范围内。

[0219] 上交换耦合控制层 463 可以被布置在结自由磁性层 461 上。上交换耦合控制层 463 可以包括具有大的交换耦合常数的材料, 例如, 铁磁材料, 或可以增加相邻磁性物质的定向

和垂直各向异性的材料,例如,非磁性金属。例如,上交换耦合控制层 463 可以包括从由铁 (Fe)、钴 (Co) 和 / 或镍 (Ni) 组成的组中选择的至少一种。对于另一示例,上交换耦合控制层 463 可以包括从由钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铜 (Cu)、镁 (Mg)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钽 (Ta)、钯 (Pd) 和 / 或铂 (Pt) 组成的组中选择的至少一种。在一些实施例中,上交换耦合控制层 463 可以进一步包括接触上交换耦合控制层 463 的氧化层。该氧化层可以是上交换耦合控制层 463 的一些的氧化。

[0220] 上自由磁性层 466 可以包括单个磁性层或多个磁性层。例如,上自由磁性层 466 可以包括在上交换耦合控制层 463 上顺序堆叠的第一自由铁磁层、自由非磁性层和第二自由铁磁层,即,合成反铁磁 (SAF) 层。上自由磁性层 466 可以包括各个形状的具有可变的磁化方向的磁性层。

[0221] 覆盖层 470 可以被布置在上自由磁性层 466 上。覆盖层可以包括从由钽 (Ta)、铝 (Al)、铜 (Cu)、金 (Au)、银 (Ag)、钛 (Ti)、氮化钽 (TaN)、和 / 或氮化钛 (TiN) 组成的组中选择的至少一种。

[0222] 参考图 10,将描述用于形成根据发明原理的第四实施例的磁存储器件的方法。为简洁起见,可以省略先前所述的元件的进一步论述。

[0223] 再次参考图 10,在衬底 410 上形成下电极 420 和籽晶层 430。籽晶层 430 可以包括具有 HCP 晶格或 FCC 晶格的金属。例如,籽晶层 430 可以包括从由钌 (Ru)、钛 (Ti)、铂 (Pt)、钯 (Pd)、金 (Au)、银 (Ag)、铜 (Cu) 和 / 或铝 (Al) 组成的组中选择的至少一种。籽晶层 430 可以被形成有相对薄的厚度。例如,籽晶层 430 可以被形成为具有在约 $10\text{\AA}$ (埃) 至约 $100\text{\AA}$ (埃) 的范围内的厚度。

[0224] 在籽晶层 430 上形成垂直基准磁性层 442。垂直基准磁性层 442 可以包括对籽晶层 430 具有大依赖性的材料。例如,垂直基准磁性层 442 的晶体结构可以与籽晶层 430 的晶体结构对准。例如,可以沿着籽晶层 430 的 c 轴生长垂直基准磁性层 442。因此,通过将籽晶层 430 用作籽晶生长的垂直基准磁性层 442 可以通过相对低温的工艺来形成。

[0225] 例如,垂直基准磁性层 442 可以包括钴 (Co) 和 / 或铂 (Pt)。垂直基准磁性层 442 可以包括根据钴 (Co) 和铂 (Pt) 含量而有序的合金或无序的合金。例如,将籽晶层 330 用作籽晶形成的垂直基准磁性层 442 可以在室温下进行沉积。

[0226] 可以在垂直磁性层 442 上形成下交换耦合控制层 444。下交换耦合控制层 444 可以包括具有大的交换耦合常数的铁磁材料,例如从包括铁 (Fe)、钴 (Co) 和或镍 (Ni) 的金属中选择的至少一种。相反,下交换耦合控制层 444 可以增加相邻磁性物质的表面磁各向异性。例如,下交换耦合控制层 444 可以包括非磁性材料,例如,非磁性金属元素或过渡金属。下交换耦合控制层 444 以包括从由钛 (Ti)、铬 (Cr)、钌 (Ru)、铑 (Rh)、铜 (Cu)、镁 (Mg)、锌 (Zn)、铝 (Al)、钽 (Ta)、钯 (Pd) 和 / 或铂 (Pt) 组成的组中选择的至少一种。

[0227] 在一些实施例中,可以对下交换耦合控制层 444 的表面进行氧化。用于氧化的工艺可以包括在形成下交换耦合控制层 444 之前将极少量氧注入室中,在该室中加载其中已经形成垂直磁性层 442 的产品,或者,通过在形成具有原子层厚度的下交换耦合控制层 444 之后将极少量氧注入室中来形成氧化层,然后形成其余的下交换耦合控制层 444。

[0228] 可以在下交换耦合控制层 444 上形成结基准磁性层 448。通过垂直基准磁性层 442 和 / 或下交换耦合控制层 444,可以增强结基准磁性层 448 的垂直各向异性。

[0229] 在结基准磁性层 448 上形成隧道势垒 450。隧道势垒 450 可以包括从由镁 (Mg)、钛 (Ti)、铝 (Al)、镁 - 锌 (MgZn) 和 / 或镁 - 硼 (MgB) 的氧化物、和 / 或钛 (Ti) 和 / 或钒 (V) 的氮化物组成的组中选择的至少一种。相反,隧道势垒 450 可以包括多个层。例如,隧道势垒 450 可以包括镁 (Mg)/氧化镁 (MgO)、氧化镁 (MgO)/镁 (Mg)、和 / 或镁 (Mg)/氧化镁 (MgO)/镁 (Mg)。在实施例中,隧道势垒 450 可以具有 NaCl 型结构 (体心立方晶格结构)。例如,隧道势垒 450 可以包括氧化镁 (MgO)。

[0230] 在隧道势垒 450 上形成结自由磁性层 461。结自由磁性层 461 可以具有相对低的饱和磁化强度。结自由磁性层 461 可以进一步包括非磁材料。可以以非晶状态形成结自由磁性层 461。

[0231] 可以在结自由磁性层 461 上形成上交换耦合控制层 463。在一实施例中,结自由磁性层 461 可以包括具有大的交换耦合常数的磁性材料。因此,当稍后所述的结自由磁性层 461 和上基准磁性层 466 之间的交换耦合增加时,结自由磁性层 461 的垂直各向异性增加。具体地,当在结自由磁性层 461 上形成上交换耦合控制层时,结自由磁性层 461 的晶体结构不会结晶成稍后所述的上自由磁性层 466 的晶体结构,但可以与隧道势垒 450 的晶体结构对准。当结自由磁性层 461 与隧道势垒 450 的晶体结构对准时,可以增强包括结自由磁性层 461 的磁性隧道结的磁阻比。在实施例中,可以对上交换耦合控制层 463 和结自由磁性层 461 之间的界面进行氧化。可以通过在形成上结自由磁性层 461 之后将极少量氧注入室中,在该室中加载上面已经形成上结自由磁性层 461 的产品,来执行氧化的工序;或,在形成具有原子层厚度的交换耦合控制层 463 之后将极少量氧注入室中形成氧化物,然后形成其余交换耦合控制层 463。

[0232] 可以在上交换耦合控制层 463 上形成上自由磁性层 466。上自由磁性层 466 可以包括具有铁磁材料的单个层,或者包括具有该单个层的多个层。在实施例中,上自由磁化层 466 可以包括铁磁层 - 反铁磁层 - 铁磁层结构。

[0233] 覆盖层 470 可以被形成在上交换耦合控制层 463 上。覆盖层 470 可以包括从由钽 (Ta)、铝 (Al)、铜 (Cu)、金 (Au)、银 (Ag)、钛 (Ti)、氮化钽 (TaN) 和 / 或氮化钛 (TiN) 组成的组中选择的至少一种。

[0234] 根据发明原理的一些实施例,当在垂直磁性层和结磁性层间插入非磁性层时,能够提高包括结磁性层的磁性隧道结的磁阻比和垂直磁化属性。另外,在操作磁存储器件期间,开关属性能够通过分别具有不同的铁含量的自由磁性层和基准磁性层来提高。因此,磁存储器件的可靠性能够提高。

[0235] 根据发明原理的其他实施例,磁性层能可以具有六方紧密堆积 (HCP) 晶格,该六方紧密堆积 (HCP) 晶格具有垂直于衬底 100 的平面并且易磁化的轴。因此,能够将电子的自旋方向排列成相对于衬底的垂直方向。因此,磁性隧道结的磁阻比能够提高。另外,能够减小包括磁性隧道结的磁存储器件的开关电流。

[0236] 上述公开的主题将视为是说明性的而不是限制性的,并且希望所附权利要求涵盖落在这里公开的本发明原理的真正精神和范围内的所有这样的修改、改进和其他实施例。因此,对于法律所容许的最大程度,将由所附权利要求及其等同物的最宽可容许解释来确定本发明原理的范围,而不应当受上述详细描述的限制或限定。

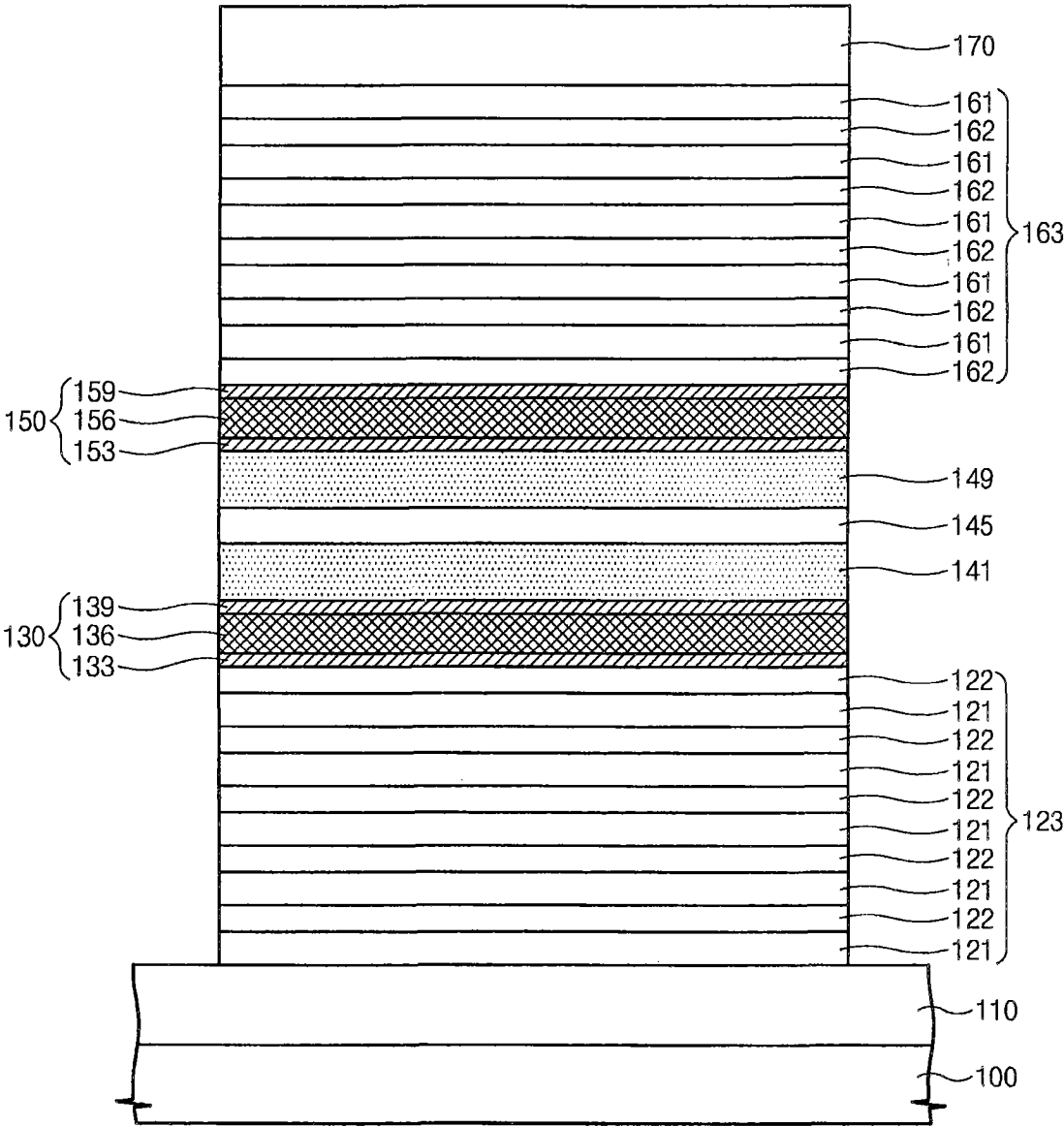


图 1

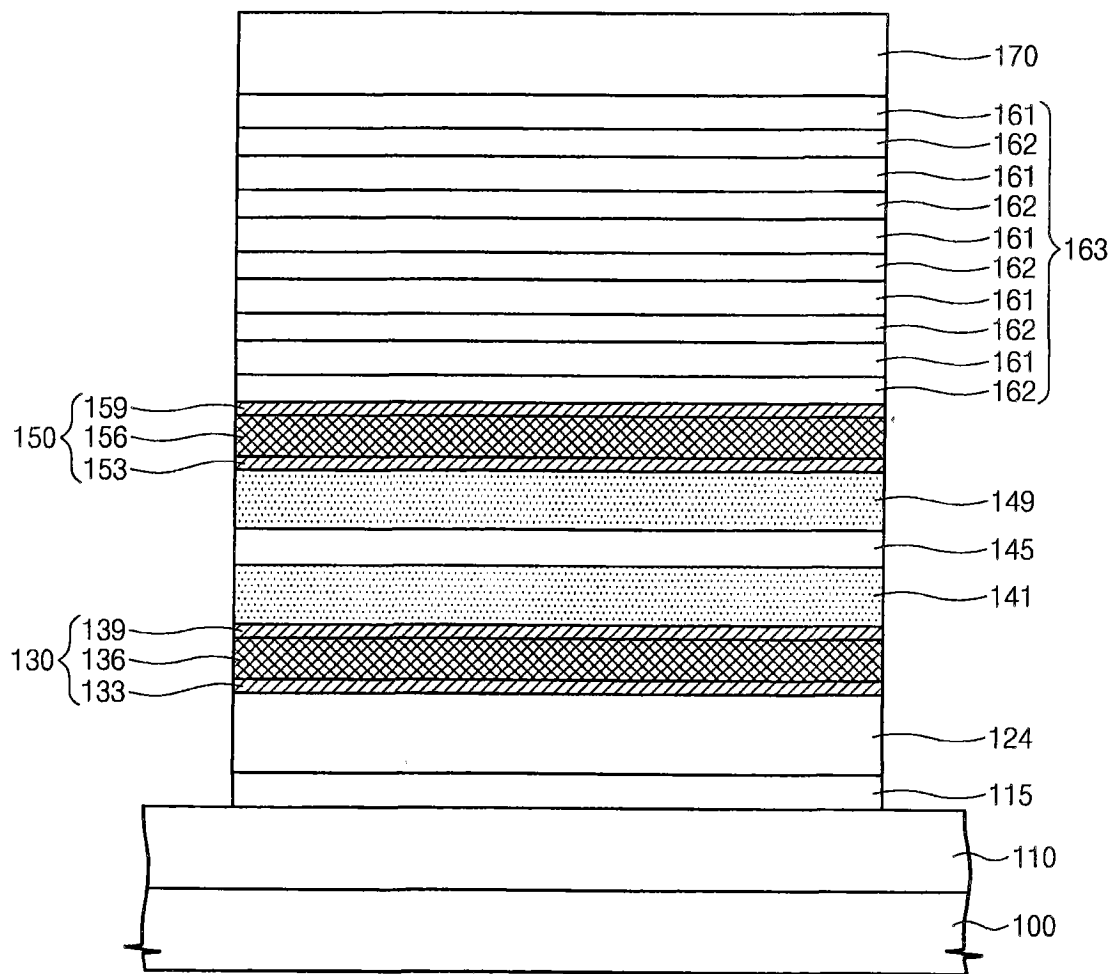


图 2

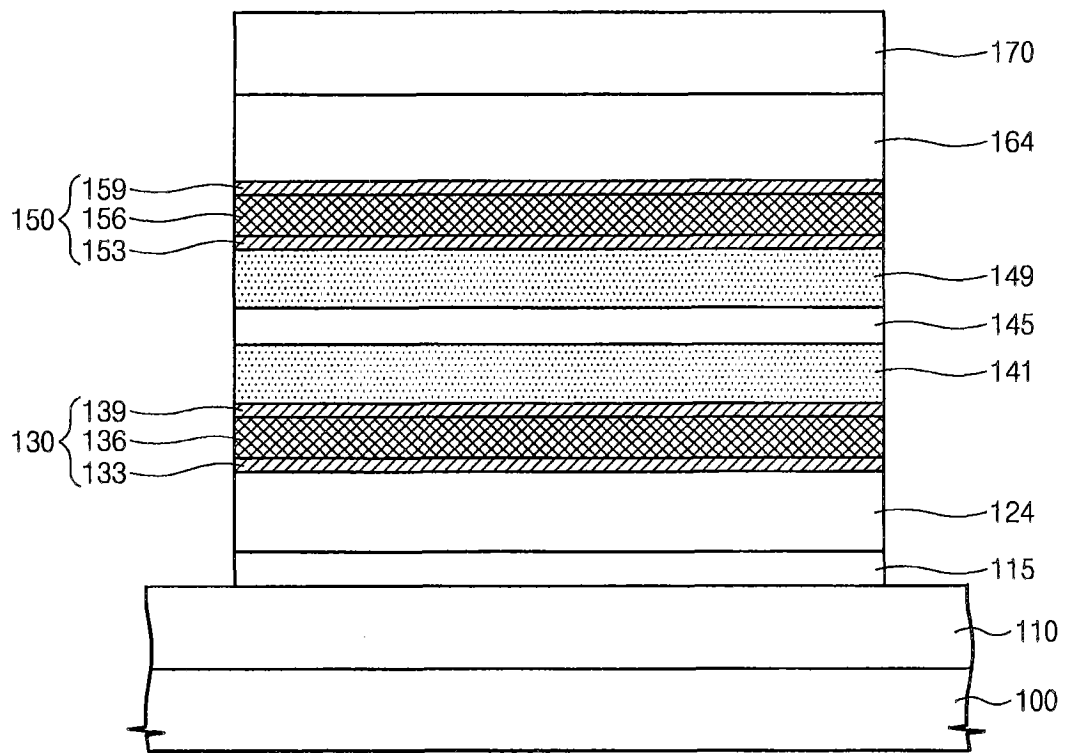


图 3

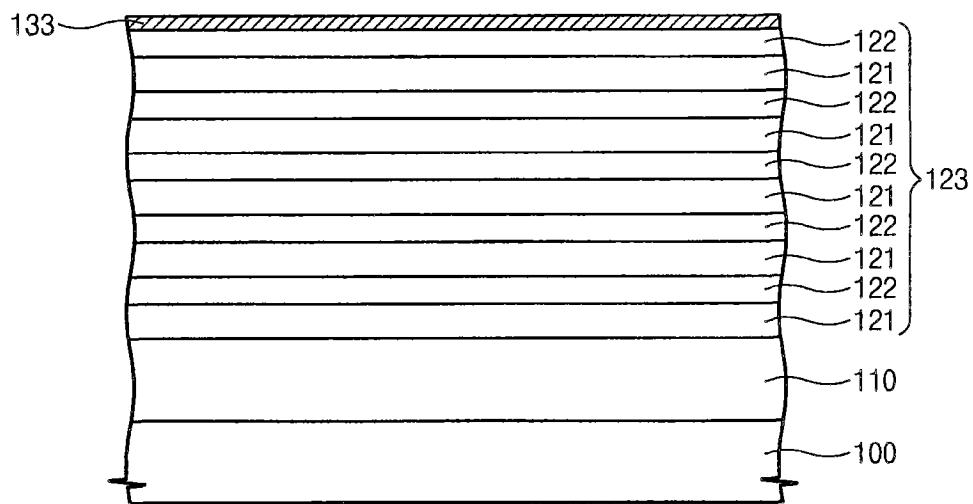


图 4A

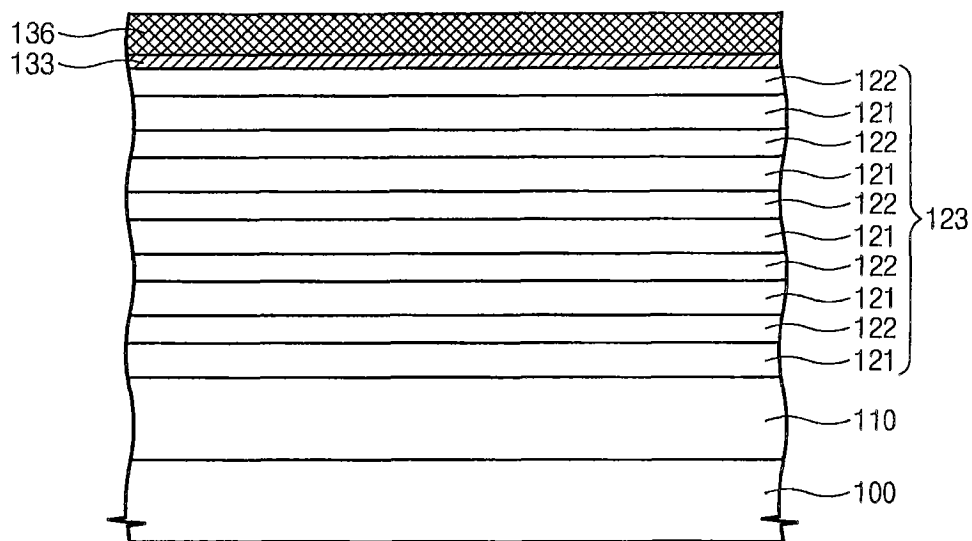


图 4B

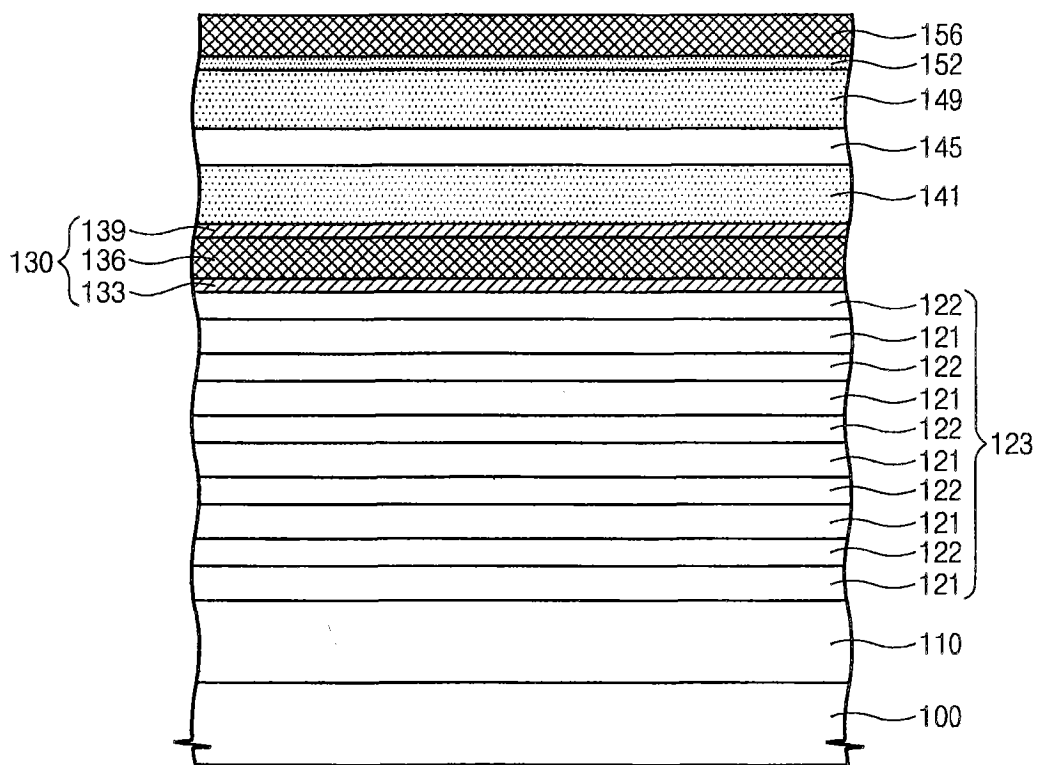


图 4C

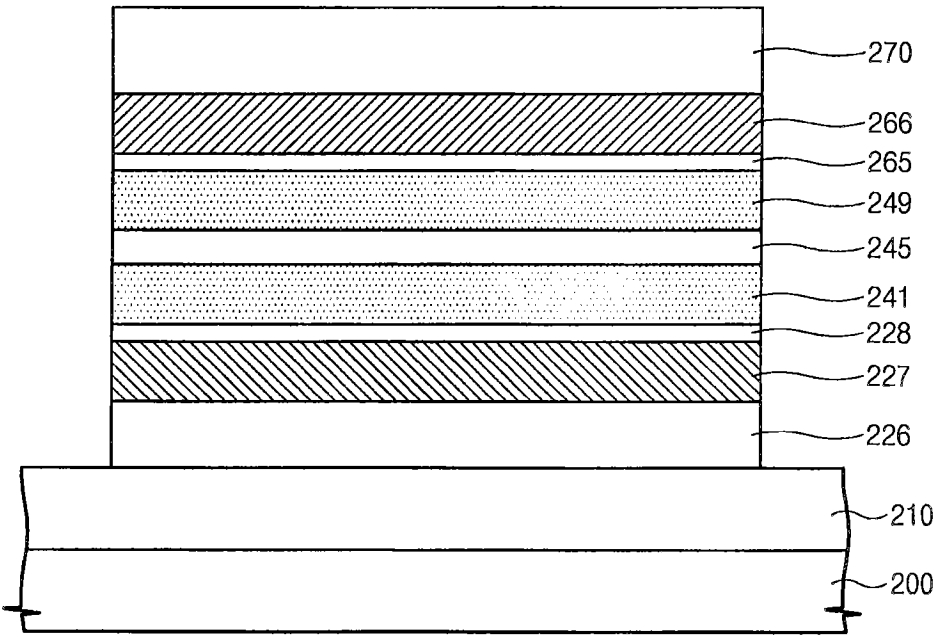


图 5

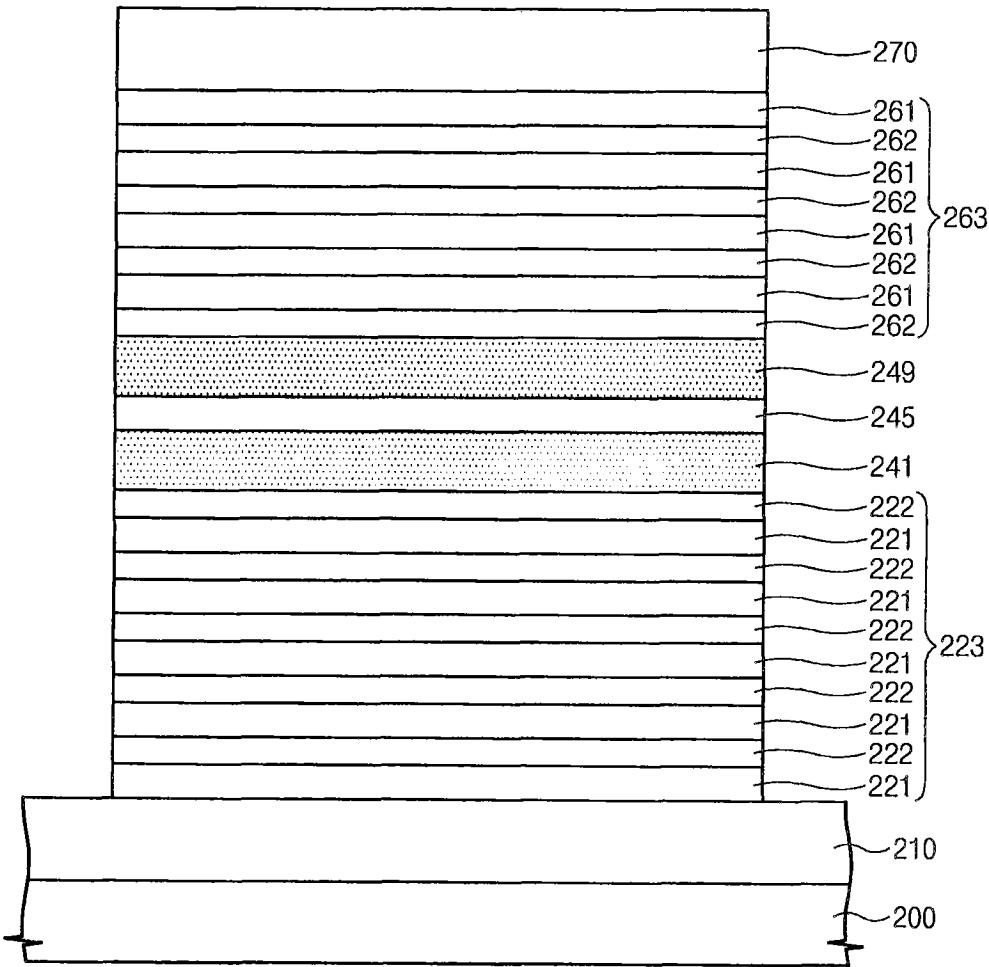


图 6

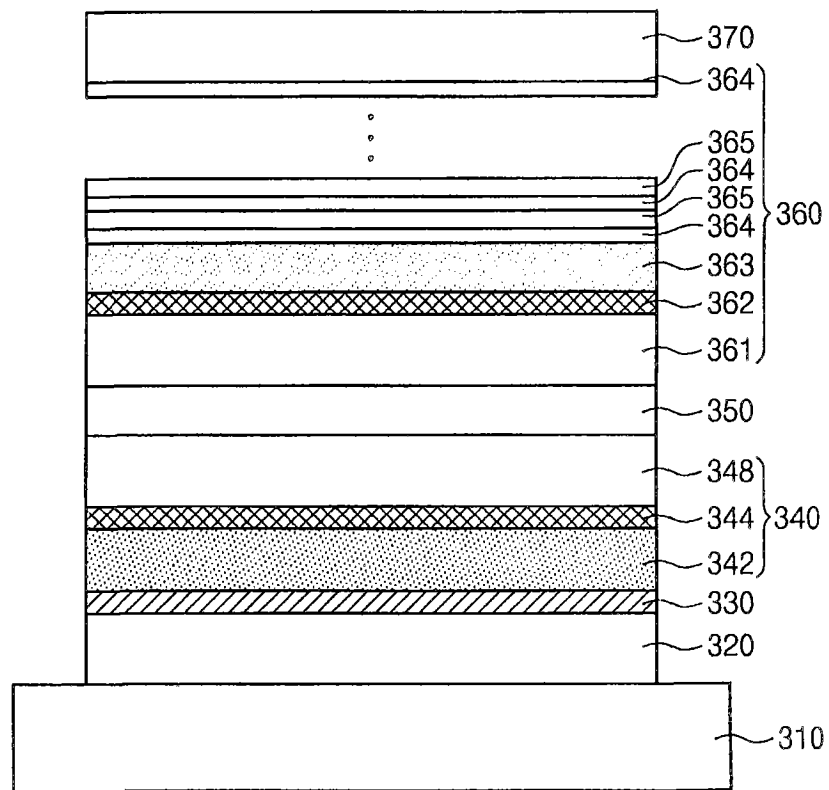


图 7

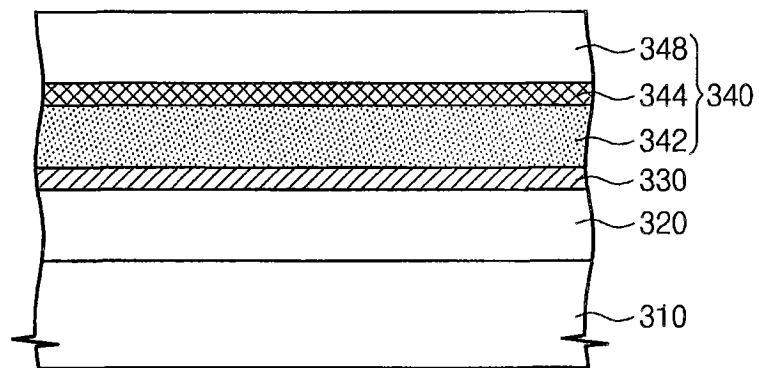


图 8

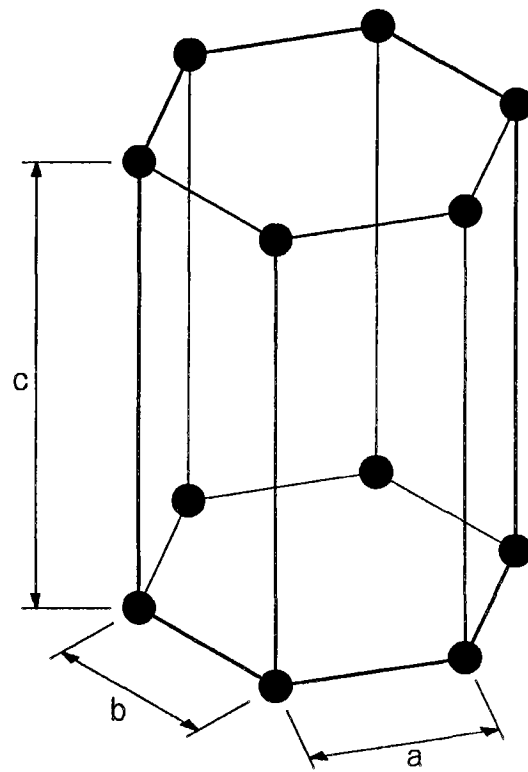


图 9

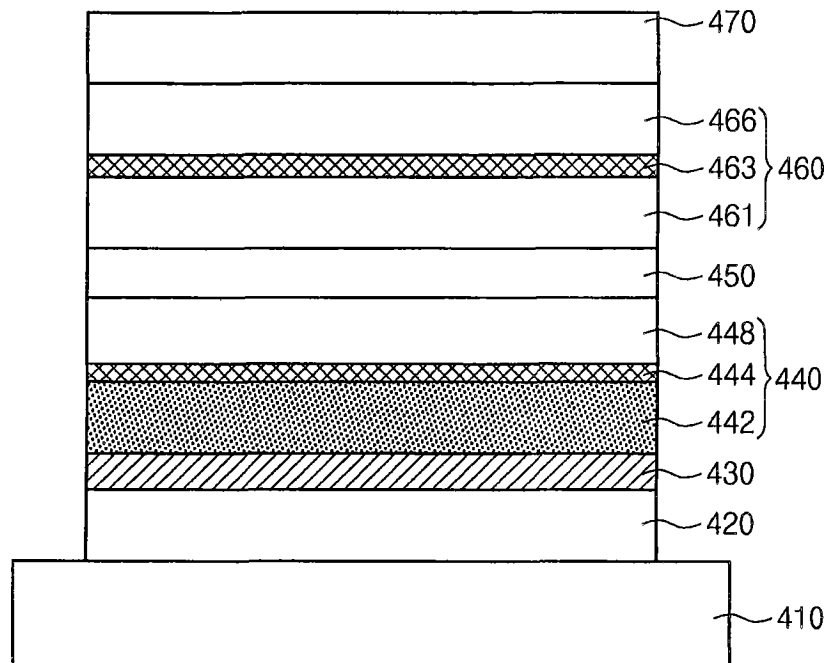


图 10