



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104471419 A

(43) 申请公布日 2015. 03. 25

(21) 申请号 201280073290. 1

(22) 申请日 2012. 06. 26

(30) 优先权数据

10-2012-0054188 2012. 05. 22 KR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 11. 19

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/KR2012/005035 2012. 06. 26

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/176332 K0 2013. 11. 28

(71) 申请人 爱思开海力士有限公司

地址 韩国京畿道

(72) 发明人 林相镐 李泰荣 李性来 孙东秀

(74) 专利代理机构 北京弘权知识产权代理事务所 (普通合伙) 11363

代理人 俞波 许伟群

(51) Int. Cl.

G01R 33/05(2006. 01)

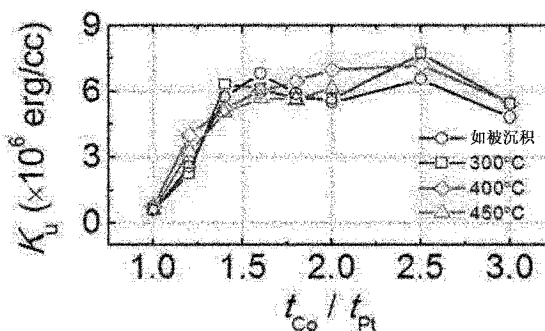
权利要求书1页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

具有反转结构的基于钴和铂的多层薄膜及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种具有新颖结构和垂直磁各向异性的基于钴 (Co) 和铂 (Pt) 的多层薄膜及其制造方法。更具体地, 本发明涉及一种具有垂直磁各向异性 (PMA) 的基于钴和铂的多层薄膜及其制造方法, 其包括在衬底之上交替地沉积的薄钴层和薄铂层, 并且具有薄钴层的厚度比薄铂层的厚度大的反转结构。基于钴和铂的多层薄膜具有磁性薄层的厚度比非磁性薄层的厚度大的新结构。多层薄膜可以通过根据层的厚度比控制垂直磁各向异性能量, 来容易地应用以作为磁隧道结中的自由层和固定层。此外, 多层薄膜具有优良的热稳定性, 因而即使在经受热处理工艺之后也能保持其 PMA 能量密度。另外, 它使得微量的平面内磁各向异性能够通过热处理形成, 以便降低磁化翻转所需的临界电流密度。因此, 它可以有利地用于高性能和高密度的 MRAM。



1. 一种具有垂直磁各向异性 (PMA) 的基于钴和铂的多层薄膜, 其包括交替地沉积在衬底之上的薄钴层和薄铂层, 并且具有所述薄钴层的厚度比所述薄铂层的厚度大的反转结构。

2. 如权利要求 1 所述的基于钴和铂的多层薄膜, 其中, 在所述基于钴和铂的多层薄膜中, 所述薄钴层的厚度与所述薄铂层的厚度之比大于 1:1, 但小于 3:1。

3. 如权利要求 1 所述的基于钴和铂的多层薄膜, 其中, 在所述基于钴和铂的多层薄膜中, 每个薄铂层的厚度从 0.15nm 至 0.25nm 变动。

4. 如权利要求 1 所述的基于钴和铂的多层薄膜, 其中, 在所述基于钴和铂的多层薄膜中, 所述薄钴层和所述薄铂层沉积一次, 或者交替地沉积 2 至 10 次。

5. 如权利要求 1 所述的基于钴和铂的多层薄膜, 其中, 所述衬底是选自硅衬底、玻璃衬底、蓝宝石衬底和氧化镁衬底中的一个。

6. 如权利要求 1 所述的基于钴和铂的多层薄膜, 其中, 缓冲层和晶种层沉积在所述衬底与交替地沉积的薄钴层和薄铂层之间, 以及保护层沉积在交替地沉积的薄钴层和薄铂层上。

7. 如权利要求 6 所述的基于钴和铂的多层薄膜, 其中, 所述缓冲层、所述晶种层或所述保护层由 Au、Cu、Pd、Pt、Ta、Ru、或者它们中的两个或更多的合金制成。

8. 一种制造基于钴和铂的多层薄膜的方法, 所述方法包括步骤:

(a) 在衬底之上沉积具有薄钴层的厚度比薄铂层的厚度大的反转结构的基于钴和铂的多层薄膜; 以及

(b) 对所述多层薄膜进行热处理。

9. 如权利要求 8 所述的方法, 其中, 在 150°C 和 500°C 之间的温度下执行所述热处理。

10. 如权利要求 8 所述的方法, 还包括, 在步骤 (a) 之前, 在所述衬底之上顺序地沉积缓冲层和晶种层的步骤。

11. 如权利要求 8 所述的方法, 还包括, 在步骤 (a) 之后且在步骤 (b) 之前, 沉积保护层的步骤。

具有反转结构的基于钴和铂的多层薄膜及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及具有新颖结构和垂直磁各向异性的基于钴 (Co) 和铂 (Pt) 的多层薄膜, 及其制造方法。

背景技术

[0002] 在努力克服广泛地用于诸如个人计算机 (PC) 和移动电话之类的电子设备中的半导体存储器件——动态随机存取存储器 (在下文中, 被称作为 DRAM) 的易失性时, 已经积极地对具有非易失性存储器特性的磁性随机存取存储器 (在下文中, 被称作为 MRAM) 进行了研究。如本文中所使用的, 术语“非易失性存储器”指的是仅需要特定量的功率来读取和写入信息以及即使当电源阻断时也不需要单独的电源来保持写入的信息的性能。特别地, 近年来, DRAM 的集成度达到了极限, 因而 MRAM 已经被视为 DRAM 的替代。因此, 在相关工业领域中, 已经积极地进行 MRAM 的研究和开发。

[0003] 自 2000 年初已经对 MRAM 进行了研究, 并且早期研究主要集中在通过利用施加电流产生的磁场使磁化反转来改变隧穿磁阻 (在下文中, 被称作为 TMR) 的电阻。然而, 这种基于 TMR 的 MRAM 器件具有的缺点在于, 随着器件尺寸的减小, 写入电流的量大大地增加, 这使得难以实现大规模、密集集成的存储器。由于此缺点的原因, 引入了基于自旋转移力矩磁化翻转的 MRAM 技术。它是电流感应的磁化翻转的类型, 并且基于利用通过施加电流至磁性薄膜产生的自旋转移力矩 (在下文中, 被称作为 STT) 来翻转磁化的方法。基于此方法的 MRAM 被称作为 STT-MRAM。自旋转移力矩磁化翻转与现有的磁场感应的磁化翻转相比, 提供了包括高集成度、宽写入窗口以及低功耗在内的各种优点。

[0004] 对 STT-MRAM 的在先研究主要集中在具有平面内磁各向异性的磁隧道结 (在下文中, 被称作为 MTJ)。近来, 还开发了具有相对低的临界电流密度, 同时在纳米尺寸的磁单元中保持它们的热稳定性的平面内磁隧道结 (iMTJ)。这样的结果大多在基于 MgO 的结构 (具有包括自由层和固定层的交换耦合的三层) 中获得, 但是要求需要更低的临界电流密度 (例如, $1\text{MA}/\text{cm}^2$ 或更少) 的 MTJ 实现高集成 MRAM 器件以供商业用途。

[0005] 鉴于 iMTJ 的此缺点, 具有垂直磁各向异性 (在下文中, 被称作为 PMA) 的 MJG 具有很大的优点在于, 磁化翻转所需的临界电流密度低。这是因为在磁化翻转期间 iMTJ 需要额外的力矩来克服去磁场 ($2\pi M_s$, 其中 M_s = 饱和磁化), 因而难以降低临界电流密度。针对此垂直 MTJ (pMTJ), 最重要的是开发具有优良 PMA 性能 (PMA 能量密度 = 大约 $10^7\text{erg}/\text{cc}$) 的材料和结构。然而, 从静磁能角度, PMA 应当克服很高的去磁场, 因而基本上难以开发具有优良 PMA 性能的材料和结构。

[0006] 很大程度上可以把 PMA 分成由界面引起的 PMA 和由体性能引起的 PMA。至今, 已经主要地研究了具有垂直磁各向异性 (PMA) 的三种类型的材料, 包括稀土-3d 过渡金属无定形合金、诸如 CoPd 和 CoPt 的多层薄膜 [W. B. Zeper 等人, J. Appl. Phys. 70, 2264 (1991)]、以及诸如 FePt、CoPt 之类的具有 $L1_0$ 结构的金属间化合物 [T. Shima 等人, Appl. Phys. Lett. 80, 288 (2002)]。

[0007] 然而,稀土-3d 过渡金属无定形合金具有的问题在于 PMA 能量密度不足,并且即使在相对低的温度(大约 300℃)也发生结晶化以快速地降低 PMA 性能。另一方面,诸如 FePt、CoPt 之类的具有 $L1_0$ 结构的金属间化合物被称为至目前为止具有最好特性的材料,这是因为 PMA 能量密度足够高,并且温度特性也良好。然而,具有 $L1_0$ 结构的金属间化合物还具有的问题在于,这些化合物不适用于在当前存储器件工艺中使用的温度条件,这是因为需要比 600℃ 更高的温度来形成具有被认为 PMA 最重要的因素的高长范围量级的金属间化合物。另外,存在的问题在于,不容易设计用于形成对垂直磁各向异性 (PMA) 必要的 (001) 纹理所需的晶种层和缓冲层。最后,诸如 CoPd 和 CoPt 之类的多层薄膜结构具有足够的 PMA 能量密度,但是具有的问题在于在从大约 350℃ 至 450℃ 变动的温度(即为在当前存储器制造工艺中使用的热处理温度)下,这些多层薄膜结构容易被破坏,因而 PMA 性能被降低或丧失。

[0008] 因此,由于在现有技术中出现的上述问题,所以迫切需要适用于在当前存储器制造工艺中使用的热处理温度并且同时具有足够的垂直磁各向异性密度的新的材料和结构。

发明内容

[0009] 技术问题

[0010] 因此,本发明的第一目标是提供一种基于钴和铂的多层薄膜,其即使在当前存储器制造工艺中使用的热处理温度范围内也能够牢固地保持其结构和性能,并且同时具有优良的垂直磁各向异性 (PMA) 以便实现垂直磁隧道结 (pMTJ)。

[0011] 本发明的第二目标是提供一种制造上面的基于钴和铂的多层薄膜的方法。

[0012] 技术方案

[0013] 为了实现第一目标,本发明提供了一种具有垂直磁各向异性 (PMA) 的基于钴和铂的多层薄膜,其包括交替地沉积在衬底上的薄钴层和薄铂层,并且具有薄钴层的厚度比薄铂层的厚度大的反转结构。

[0014] 在本发明的一个实施例中,在基于钴和铂的多层薄膜中薄钴层的厚度与薄铂层的厚度之比可以大于 1:1,但小于 3:1。

[0015] 在本发明的另一实施例中,在基于钴和铂的多层薄膜中每个薄铂层的厚度可以从 0.15nm 至 0.25nm 变动。

[0016] 在本发明的又一实施例中,在基于钴和铂的多层薄膜中薄钴层和薄铂层可以沉积一次,或者可以交替地沉积 2 至 10 次。

[0017] 在本发明的再一实施例中,衬底可以选自硅衬底、玻璃衬底、蓝宝石衬底和氧化镁衬底中的任何一种。

[0018] 在本发明的再一实施例中,缓冲层和晶种层可以沉积在衬底与交替地沉积的薄钴层和薄铂层之间,并且保护层可以沉积在交替地沉积的薄钴层和薄铂层上。

[0019] 在本发明的再一实施例中,缓冲层、晶种层或保护层可以由 Au、Cu、Pd、Pt、Ta、Ru、或它们中的两个或更多的合金制成。

[0020] 为了实现第二目标,本发明提供了一种制造基于钴和铂的多层薄膜的方法,所述方法包括步骤:(a) 在衬底上沉积具有薄钴层的厚度比薄铂层的厚度大的反转结构的基于铂和钴的多层薄膜;以及 (b) 对沉积的多层薄膜进行热处理。

[0021] 在本发明的一个实施例中,热处理可以在 150℃和 500℃之间的温度下执行。

[0022] 在本发明的一个实施例中,所述方法还可以包括:在步骤(a)之前,在衬底上顺序地沉积缓冲层和晶种层的步骤。

[0023] 在本发明的又一实施例中,所述方法还可以包括:在步骤(a)之后且在步骤(b)之前,沉积保护层的步骤。

[0024] 有益效果

[0025] 具有根据本发明的反转结构的基于钴和铂的多层薄膜具有磁性薄层的厚度比非磁性薄层的厚度大的新结构。在高密度 MRAM 的开发中,本发明的多层薄膜可以通过根据磁性薄层和非磁性薄层的厚度比控制 PMA 能量密度来容易地应用以作为自由层和固定层。此外,本发明的多层薄膜具有优良的热稳定性,因而即使在经受热处理工艺之后也能够保持其 PMA 能量密度。另外,它使得微量的平面内磁各向异性能够通过热处理形成,以便降低磁化翻转所需的临界电流密度。因此,它可以有利地用于高性能和高密度的 MRAM。

附图说明

[0026] 图 1 是示出根据本发明的一个实施例的多层薄膜的结构截面图。

[0027] 图 2a 是为具有根据本发明的一个实施例的反转结构的基于钴和铂的多层薄膜 $[\text{Co}(0.32\text{nm})/\text{Pt}(0.2\text{nm})]_6$ 的扫描透射电子显微镜图像,以及图 2b 是示出由图 2a 中的红虚线表示的部分的每个组分的分布的曲线图。

[0028] 图 3a 至图 3c 描绘了对于为根据现有技术的多层薄膜的 $[\text{Co}(0.2\text{nm})/\text{Pt}(0.28\text{nm})]_6$ 随着热处理温度的磁矩(m)-迟滞(H)曲线。图 3a:在热处理之前;图 3b:在 300℃热处理之后;以及图 3c:在 450℃热处理之后。

[0029] 图 4a 至图 4c 描绘了对于作为具有根据本发明的反转结构的基于钴和铂的多层薄膜的 $[\text{Co}(0.32\text{nm})/\text{Pt}(0.2\text{nm})]_6$ 随着热处理温度的磁矩(m)-迟滞(H)曲线。图 4a:在热处理之前;图 4b:在 300℃热处理之后;以及图 4c:在 450℃热处理之后。

[0030] 图 5a 和图 5b 是示出对于作为根据现有技术的多层薄膜的 $[\text{Co}(0.2\text{nm})/\text{Pt}(t_{\text{Pt}}\text{nm})]_6$ (Co 厚度(t_{Co})被固定至 0.2nm,而 Pt 厚度(t_{Pt})变化),作为厚度比($t_{\text{Pt}}/t_{\text{Co}}$)的函数的饱和磁化(M_s) (图 5a) 和 PMA 能量密度(K_u) (图 5b) 的曲线图。

[0031] 图 6a 和图 6b 是示出对于作为具有根据本发明的实施例的反转结构的基于钴和铂的多层薄膜的 $[\text{Co}(t_{\text{Co}}\text{nm})/\text{Pt}(0.2\text{nm})]_6$ (Co 厚度(t_{Co})被固定至 0.2nm,而 Pt 厚度(t_{Pt})变化),作为厚度比($t_{\text{Pt}}/t_{\text{Co}}$)的函数的饱和磁化(M_s) (图 6a) 和 PMA 能量密度(K_u) (图 6b) 的曲线图。

具体实施方式

[0032] 在下文中,将更详细地描述本发明。

[0033] 本发明提供了一种具有垂直磁各向异性(PMA)的基于钴和铂的多层薄膜,其包括交替地沉积在衬底上的薄钴层和薄铂层,并且具有薄钴层的厚度比薄铂层的厚度大的反转结构。

[0034] 如上所述,根据现有技术的基于钴和铂的多层薄膜具有作为非磁性薄层的薄铂层的厚度比作为磁性薄层的薄钴层的厚度大的结构。已知根据现有技术的此多层薄膜中的

PMA 存在于薄钴层和薄铂层之间的界面处。具有此结构的多层薄膜具有致命的缺点在于，多层薄膜在热处理之前的 PMA 性能丧失，而对于 PMA 的呈现所必要的薄钴层和薄铂层之间的界面在当前存储器制造工艺中使用的热处理温度范围中被破坏。此缺点使得难以将现有的基于钴和铂的多层薄膜应用于 MRAM 领域。因此，本发明的发明人进行了研究，将薄钴层（磁性薄层）的厚度和薄铂层（非磁性薄层）的厚度控制在宽范围上，结果发现当薄钴层的厚度比薄铂层的厚度大时，取得了意外的效果。基于此发现，本发明人完成了本发明。

[0035] 因此，本发明提供了一种具有作为磁性薄层的薄钴层的厚度比作为非磁性薄层的薄铂层的厚度大的结构的基于钴和铂的多层薄膜。本发明中的此结构被称作为“反转结构”，这是因为在此结构中这两个层的厚度比与在现有技术结构（非磁性薄层的厚度比磁性薄层的厚度大）中的相比相反。如从随后所述的实例的结果可以看出，具有根据本发明的反转结构的多层薄膜具有的优点在于，即使当它在当前存储器制造工艺中使用的热处理温度范围下经受热处理工艺时，其 PMA 性能也能保持完整，或者进一步地提高。因而，与根据现有技术的多层薄膜相比它具有更好的性能。

[0036] 在根据本发明的基于钴和铂的多层薄膜中，薄钴层的厚度与薄铂层的厚度之比不被限制，只要前者比后者厚即可。优选地，薄钴层的厚度与薄铂层的厚度之比可以大于 1:1，但不大于 3:1。如果厚度比不大于 1:1，则所得的结构不是反转结构，而仅是与根据现有技术的多层结构相同的结构，因而不能实现本发明的特性效果。如果厚度比大于 3:1，则将存在的问题在于，在热处理工艺期间，PMA 能量密度降低，且 PMA 性能大大地恶化。

[0037] 在根据本发明的多层薄膜中，每个薄铂层的厚度可以从 0.15nm 至 0.25nm 变动，并且在这种情况下，每个薄钴层的厚度将为满足厚度比范围的厚度，也就是说，厚度从大于 0.15nm 至 0.75nm 变动。如果每个薄铂层的厚度小于 0.15nm，则将存在的问题在于，PMA 能量密度降低并且该层对抗热处理工艺弱，而如果厚度大于 0.25nm，则将存在的问题在于，在热处理工艺期间 PMA 性能快速地恶化。

[0038] 此外，在具有根据本发明的反转结构的多层薄膜中，薄钴层和薄铂层中的每个可以沉积一次，但是优选地薄钴层和薄铂层交替地沉积若干次，以保证更好的垂直磁各向异性。因而，薄钴层和薄铂层中的每个可以沉积 1 至 10 次。然而，如果每个层沉积大于 10 次，则将存在的问题在于，当所得的多层薄膜被应用于实际的存储器件时，其电阻增加，或者用于磁化翻转所需的临界电流值由于磁性薄层的体积增加而增加，因而该多层薄膜不利于商业用途。

[0039] 因而，当层被沉积 1 至 10 次以具有上述厚度范围的厚度时，由薄钴层和薄铂层构成的多层薄膜的总厚度将从 0.3nm（当均具有 0.15nm 厚度的薄钴层和薄铂层均被沉积 1 次时）至 10nm（当具有 0.25nm 厚度的薄钴层和具有 0.75nm 厚度的薄铂层均被沉积 10 次时）变动。

[0040] 此外，根据本发明的多层薄膜被沉积在衬底上。衬底可以由选自硅、玻璃、蓝宝石或氧化镁中的任何一种材料制成，但是不限制于此。此外，在根据本发明的多层薄膜中，缓冲层和品种层可以在把薄钴层和薄铂层沉积在衬底上之前被沉积。另外，在沉积薄钴层和薄铂层之后，还可以在它们上沉积保护层。缓冲层、品种层或保护层可以由在本发明所属的领域中通常使用的任何材料制成。例如，缓冲层、品种层或保护层可以由 Au、Cu、Pd、Pt、Ta、Ru、或者它们中的两个或更多的合金制成，并且不仅可以沉积为单个层，还可以沉积为多

个层。

[0041] 图 1 是示出根据本发明一个实施例的多层薄膜的结构截面图。参见图 1, 用作缓冲层的 Ta 层 110 沉积在衬底 100 上, 并且用作晶种层的 Pt 层 120 和 Ru 层 130 沉积在它们上。在晶种层 120 和 130 上, 构成基于钴和铂的多层薄膜 140 的薄钴层和薄铂层中的每个分别沉积 N 次至 t_{Co} 和 t_{Pt} 的厚度。然后, 最后沉积用作保护层的 Ru 层 150。

[0042] 本发明还提供了一种制造具有反转结构的基于钴和铂的多层薄膜的方法。该方法包括步骤: (a) 在衬底上沉积具有反转结构的基于钴和铂的多层薄膜, 在该反转结构中薄钴层的厚度比薄铂层的厚度大; 以及 (b) 对多层薄膜进行热处理。

[0043] 在根据本发明的方法中, 关于薄钴层的厚度与薄铂层的厚度之比、每个薄铂层的厚度、每个层的沉积数、缓冲层、晶种层、保护层和衬底的材料的细节如上所述。然而, 在根据本发明的本发明中, 可以制造对抗热处理工艺的具有高热稳定性的多层薄膜, 其与现有技术明显不同, 这是因为该多层薄膜具有反转结构。具体地, 在根据本发明的方法中, 在每个层沉积之后执行的热处理工艺的温度可以从 150°C 至 500°C 变动。这意味着鉴于根据现有技术的多层薄膜制造工艺由于与薄膜结构的热稳定性相关联的问题而需要主要在低温范围执行的事实, 本发明中的热处理工艺可以在与现有技术相比显著更宽的温度范围内执行。因而, 根据本发明的方法使得当前存储器制造工艺能够以方便且成本有效的方式执行, 允许这些工艺以各种方式来修改, 以及使得可以选择各种材料。此外, 如果热处理温度比 150°C 低, 则将不发生显著的问题, 但是如果热处理温度比 500°C 高, 则可能存在的问题在于 PMA 性能恶化。

[0044] 本发明的模式

[0045] 在下文中, 将参照优选实例更详细描述本发明。然而, 提供了这些实例以供更好地理解本发明, 并且本发明的范围不限制于这些实例。

[0046] 多层薄膜的制造

[0047] 使用高质量 (最优级) 湿氧化 Si/SiO₂ 衬底作为衬底。在衬底上, 形成 Ta 缓冲层 (5nm 厚度), 并且在其上在密堆积方向上形成 Pt (10nm 厚度) 和 Ru (30nm 厚度) 晶种层。在如上所述形成的缓冲层和晶种层上, 形成具有根据本发明的反转结构的多层薄膜、和根据现有技术的多层薄膜中的每个, 同时改变作为磁性薄层的薄钴层的厚度 (t_{Co} nm) 和作为非磁性薄层的薄铂层的厚度 (t_{Pt} nm)。在形成的多层薄膜的每个上, 形成用作保护层的 Ru 层 (3nm 厚度)。

[0048] 图 1 示出了根据上述方法制造的本发明的多层薄膜的截面图。图 1 中所示的每个层通过磁控管溅射沉积工艺来沉积。在沉积中使用的腔室的基础压力保持在 1×10^{-8} 托 (torr) 或更低, 并且在氩气的大气下在大约 2×10^{-3} 的压力执行沉积。在沉积过程中, 所有的层都通过在真空下沉积单个元素目标 (Ta、Pt、Ru 和 Co) 来形成。特别地, 薄钴层和薄铂层交替地沉积 6 次。薄层的厚度通过基于沉积速率准确地控制沉积时间来控制。为了准确地测量薄层的形成速率, 沉积的薄层的厚度利用表面分布分析仪和扫描透射电子显微镜 (STEM) 来测量。另外, 对于制造出的多层薄膜的准确元素分布分析, 使用了能量色散 X 射线光谱法 (在下文中, 被称作为 EDS)。

[0049] 图 2 示出了对于通过根据本发明的一个实施例顺序地沉积元素所制造的多层薄膜的 STEM 图像和 EDS 分布分析曲线图。如在图 2 中可以看出, 每个层可以被准确地沉积

至期望的厚度,并且组分比还可以与期望比准确地一致。在沉积多层薄膜之后,在 300℃至 500℃的温度下在 1×10^{-6} 托或更低的真空下执行热处理 1 小时。

[0050] 具体地,图 2a 是作为具有根据本发明一个实施例的反转结构的基于钴和铂的多层薄膜的 $[\text{Co}(0.32\text{nm})/\text{Pt}(0.2\text{nm})]_6$ 的 STEM 图像。从其中可以看出,每个层被沉积成具有均匀的厚度。图 2b 是示出由图 2a 中的红色虚线所指示的部分的每个元素组分的分布的曲线图。如从其中可以看出,在沉积工艺期间、或者沉积之前或之后,多层薄膜基本上不受氧化的影响。这支持了根据本发明的多层薄膜的 PMA 性能仅直接依赖于钴和铂的薄层的厚度和热处理温度。

[0051] 图 3 和图 4 是示出针对现有技术多层薄膜和本发明的多层薄膜,测量磁矩(m)-迟滞(H)曲线的结果的曲线图,以便证实根据本发明制造的多层薄膜的改善性能。m-H 迟滞曲线利用振动样品磁强计在正常温度进行测量。另外,尽管在附图中未示出,但是薄膜的微观结构利用 X 射线衍射计和 TEM 显微镜来分析。

[0052] 具体地,图 3a 至图 3c 描绘了对于作为根据现有技术多层薄膜且具有非磁性薄层的厚度比磁性薄层的厚度大的结构的 $[\text{Co}(0.2\text{nm})/\text{Pt}(0.28\text{nm})]_6$,随着热处理温度的 m-H 迟滞曲线(3a:在热处理之前;3b:在 300℃热处理之后;以及 3c:在 450℃热处理之后)。更具体地,图 3a 至图 3c 描绘了在平面外方向和平面内方向上施加外部磁场至薄膜表面时测量的随着热处理温度的 m-H 迟滞曲线。

[0053] 如在图 3a 至 3c 中可以看出,在热处理之前(如被沉积的)的膜的确切 PMA 性能在热处理之后大大地恶化了,并且在平面外方向上薄膜的矫顽力也降低了。这样的结果暗示出根据现有技术多层薄膜的 PMA 性能在热处理之后降低了,或者随着热处理温度增加而降低。

[0054] 这样的特性是出现非磁性薄层的厚度比磁性薄层的厚度大的钴铂多层薄膜的典型特性。将理解,根据现有技术多层薄膜的 PMA 性能存在于薄钴层和薄铂层之间的界面处,但是在薄钴层和薄铂层之间的界面在热处理期间被破坏时丧失。这样的观察结构清楚地暗示出把现有技术的钴-铂多层薄膜应用至 MRAM 存在限制。

[0055] 图 4a 至图 4c 描绘了对于作为具有根据本发明实施例的反转结构的基于钴和铂的多层薄膜的 $[\text{Co}(0.32\text{nm})/\text{Pt}(0.2\text{nm})]_6$,随着热处理温度的 m-H 迟滞曲线(4a:在热处理之前;4b:在 300℃热处理之后;以及 4c:在 450℃热处理之后)。如图 4a 中可以看出,本发明的多层薄膜在热处理之前的 m-H 迟滞曲线与图 3a 中所示的现有技术多层薄膜的 m-H 迟滞曲线相比,表明了更明显的 PMA。因而,可以看出,在热处理之前,本发明的多层薄膜与现有技术多层薄膜相比具有更好的垂直磁各向异性。

[0056] 如图 4b 中可以看出,本发明的多层薄膜在热处理之前的 PMA 性能即使在 300℃的热热处理之后基本上也能保持,这暗示出本发明的多层薄膜可以克服与在热处理之后 PMA 性能降低相关联的问题(其为现有技术的问题)。此外,如图 4c 中可以看出,本发明的多层薄膜的 PMA 性能即使在 450℃的热热处理之后也能充分地保持或改善,450℃是与在当前存储器制造工艺中使用的热处理工艺温度相对应的温度。此外,从平面内 m-H 迟滞曲线的性质可以看出,当沉积的多层薄膜在 450℃进行热处理时,具有平面内磁各向异性的第二相位被精细地形成。特别地,从此平面内磁各向异性在本发明的多层薄膜的热热处理之后形成的事实中,可以看出降低垂直磁化翻转所需的临界电流值的效果也可以获得。

[0057] 图 5 和图 6 是示出对于作为现有技术的多层薄膜和本发明的多层薄膜的 $[\text{Co}(t_{\text{Co}} \text{ nm})/\text{Pt}(t_{\text{Pt}} \text{ nm})]_6$ 结构, 在改变薄钴层厚度 ($t_{\text{Co}} \text{ nm}$) 和薄铂层厚度 ($t_{\text{Pt}} \text{ nm}$) 至各个值时, 测量饱和磁化 (M_s) 和 PMA 能量密度 (K_u) 的结果的曲线图, 以便检查根据本发明制造的多层薄膜的关键意义。

[0058] 图 5a 和图 5b 是示出对于作为根据现有技术的多层薄膜的 $[\text{Co}(0.2 \text{ nm})/\text{Pt}(t_{\text{Pt}} \text{ nm})]_6$ (Co 厚度 (t_{Co}) 被固定至 0.2nm, 并且 Pt 厚度 (t_{Pt}) 变化), 作为厚度比 ($t_{\text{Pt}}/t_{\text{Co}}$) 的函数的饱和磁化 (M_s) (图 5a) 和 PMA 能量密度 (K_u) (图 5b) 的曲线图。如图 5a 和图 5b 中所示, 随着厚度比接近于现有技术的钴铂多层薄膜的厚度比 (即, 非磁性薄层的厚度变得更大), 由于平面内饱和磁化降低的原因, 所以在热处理温度下多层薄膜的耐久性降低, 并且 M_s 降低, 以及 K_u 也降低。

[0059] 另一方面, 图 6a 和图 6b 是示出对于作为根据本发明一个实施例的基于铂和钴的多层薄膜的 $[\text{Co}(t_{\text{Co}} \text{ nm})/\text{Pt}(0.2 \text{ nm})]_6$ (Co 厚度 (t_{Co}) 被固定至 0.2nm, 而 Pt 厚度 (t_{Pt}) 变化), 作为厚度比 ($t_{\text{Pt}}/t_{\text{Co}}$) 的函数的饱和磁化 (M_s) (图 6a) 和 PMA 能量密度 (K_u) (图 6b) 的曲线图。从其中可以看出, 具有根据本发明的反转结构 (也就是说, 具有固定的 0.2nm 的非磁性薄层和逐步增加的大于 0.2nm 的磁性薄层厚度的结构) 的钴铂多层薄膜, 即使在热处理工艺中也示出了充分的耐久性, 并且与现有技术相比示出了显著改善的 PMA 性能。

[0060] 此外, 在大约 500 °C 的热处理之前和之后, 在具有反转结构的 $[\text{Co}(0.5 \text{ nm})/\text{Pt}(0.2 \text{ nm})]_6$ 的钴铂多层薄膜中 K_u 值最大, 并且示出了随着磁性薄层的厚度增加而趋向于降低。特别地, 此热处理温度是非常接近于在当前存储器制造工艺中使用的热处理温度 (300 °C 至 450 °C) 的温度。另外, 这样的结果清楚地暗示出, 当在具有根据本发明的反转结构的多层薄膜中层的厚度比得到了精细地控制时, 多层薄膜的 PMA 能量密度能够容易控制, 并且可以获得具有更强的 PMA 性能的结构。

[0061] 工业实用性

[0062] 如上所述, 具有根据本发明的反转结构的基于钴和铂的多层薄膜使得磁性结构能够保证优良的热稳定性, 并且可以有利地用在制造和应用替代达到它们极限的 DRAM 的 MRAM 中。

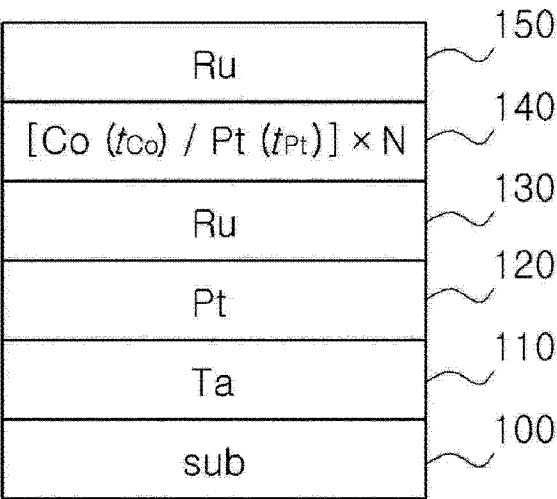


图 1

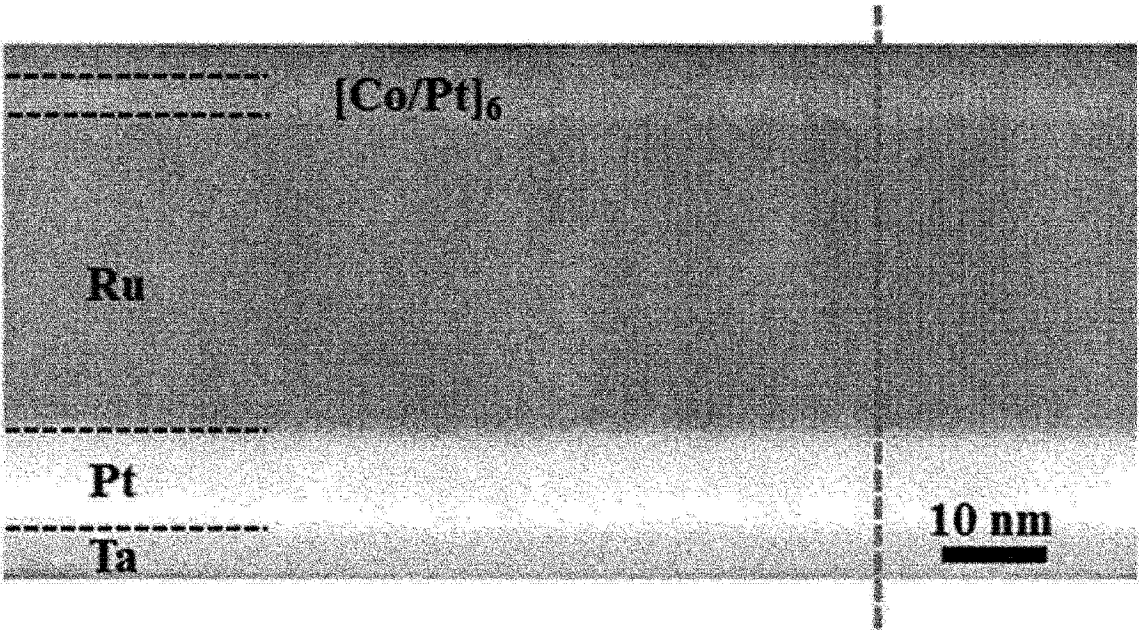


图 2a

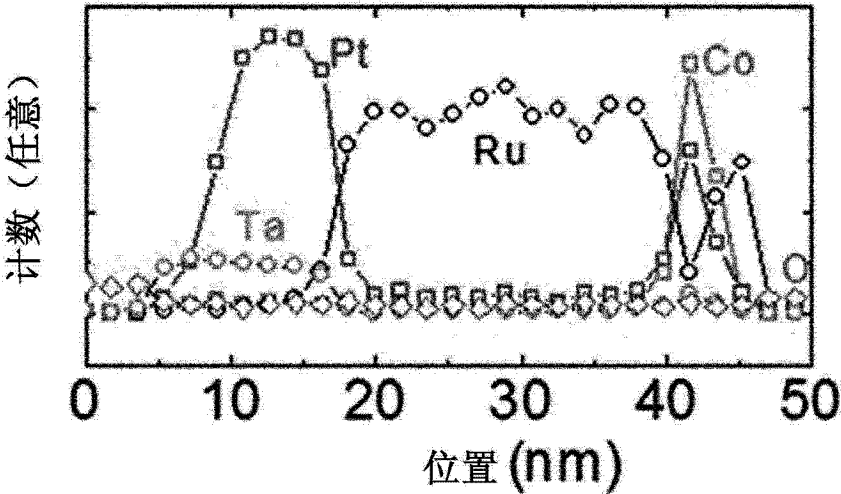


图 2b

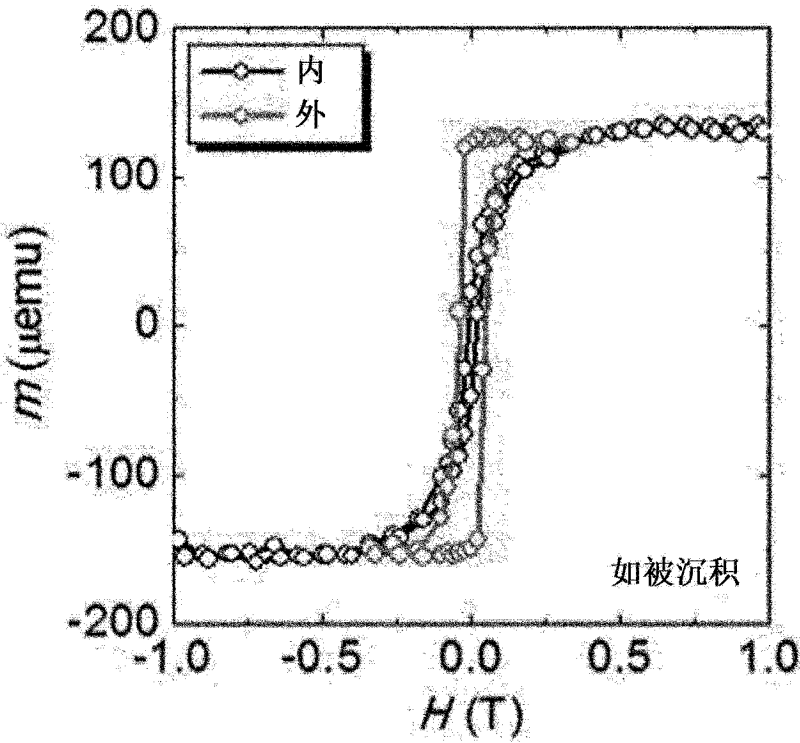


图 3a

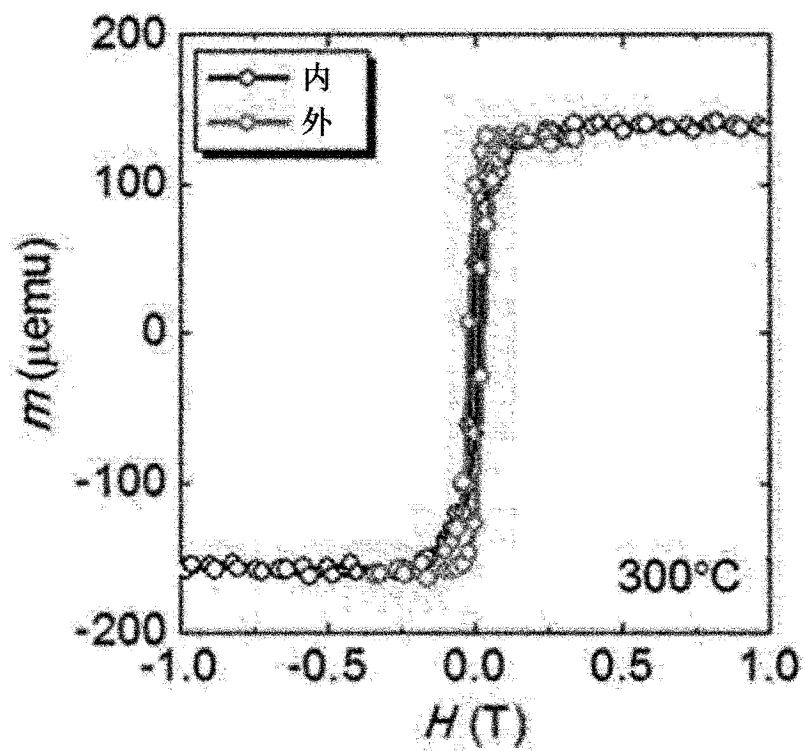


图 3b

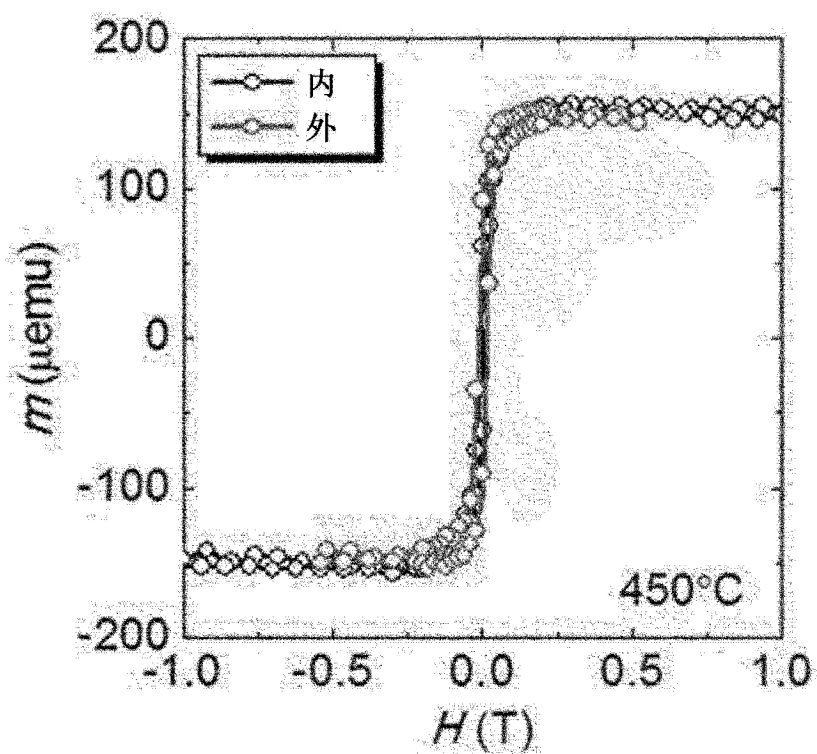


图 3c

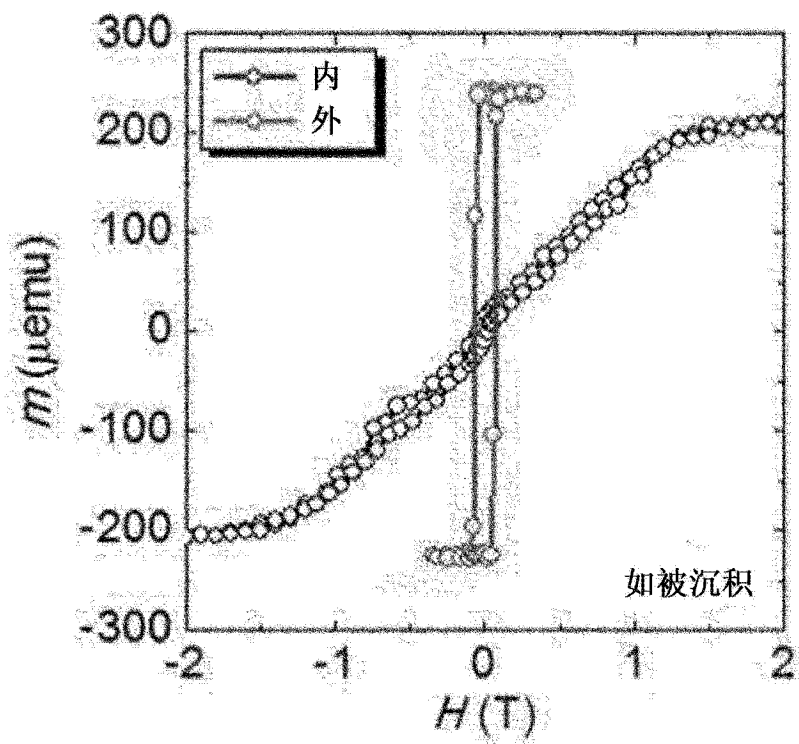


图 4a

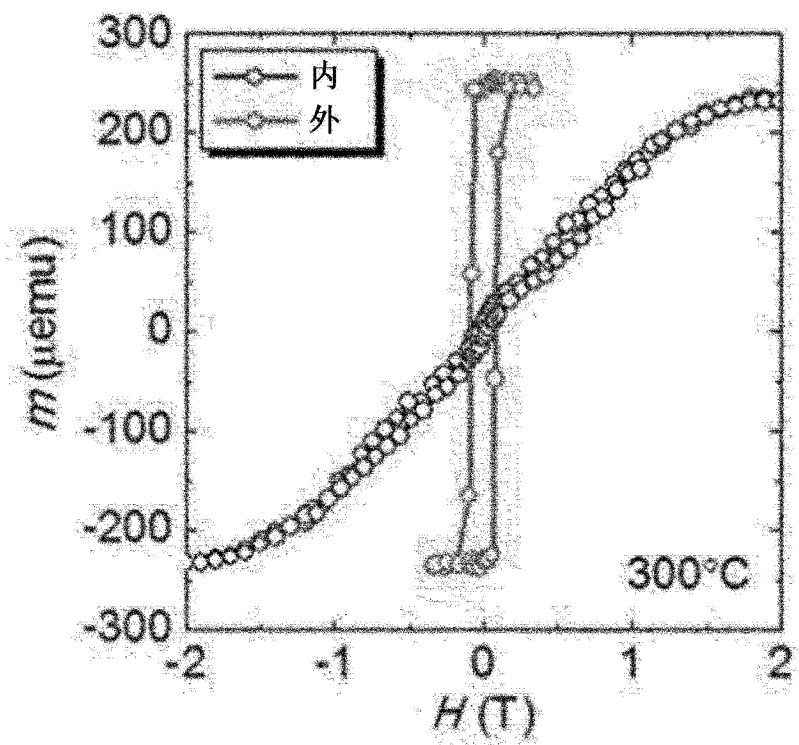


图 4b

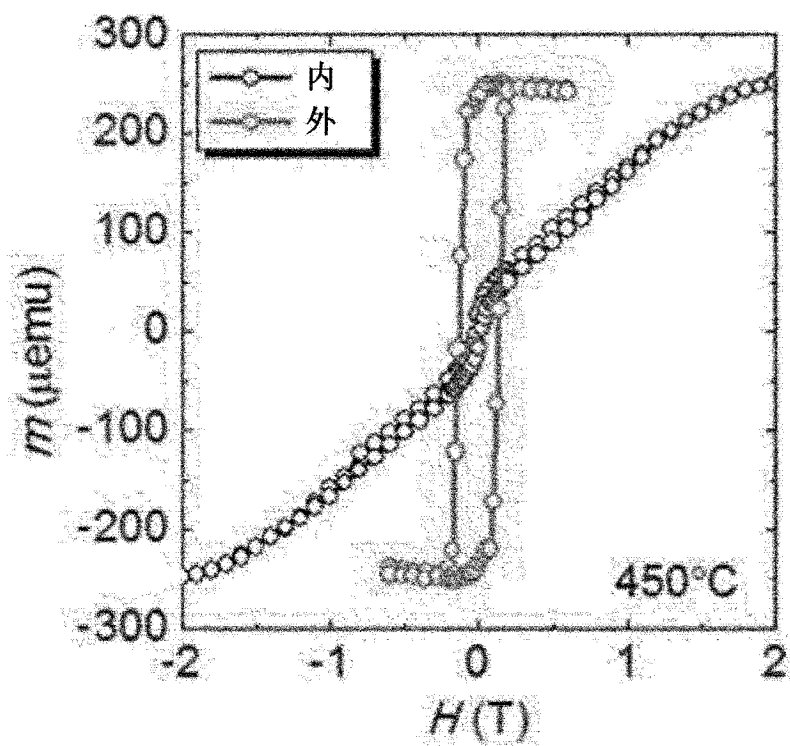


图 4c

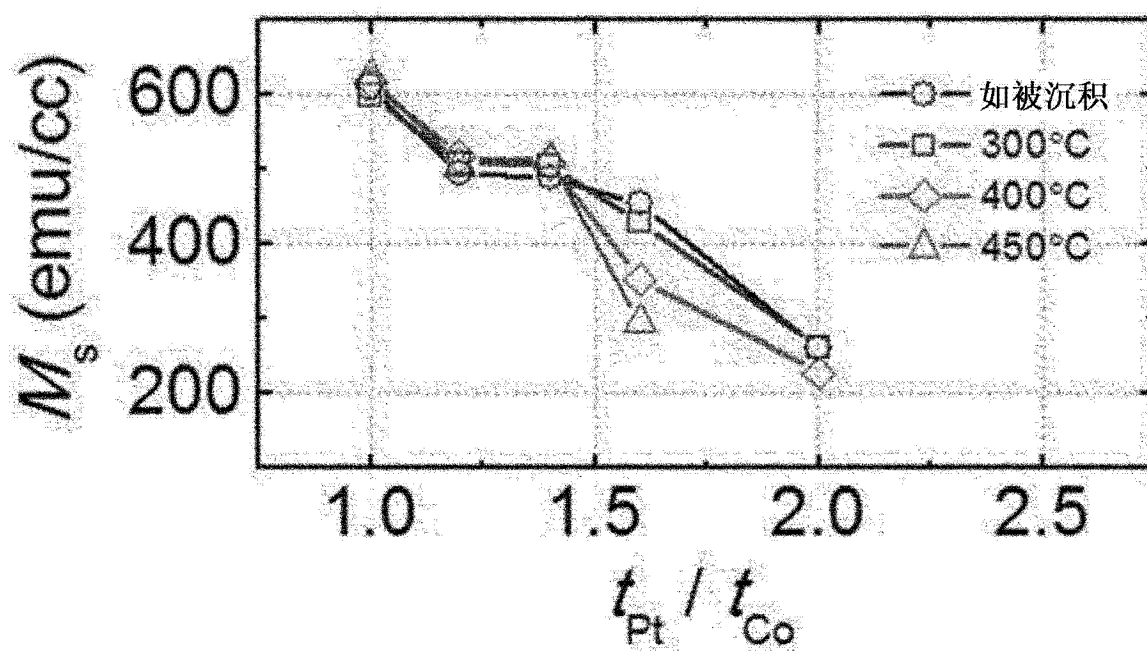


图 5a

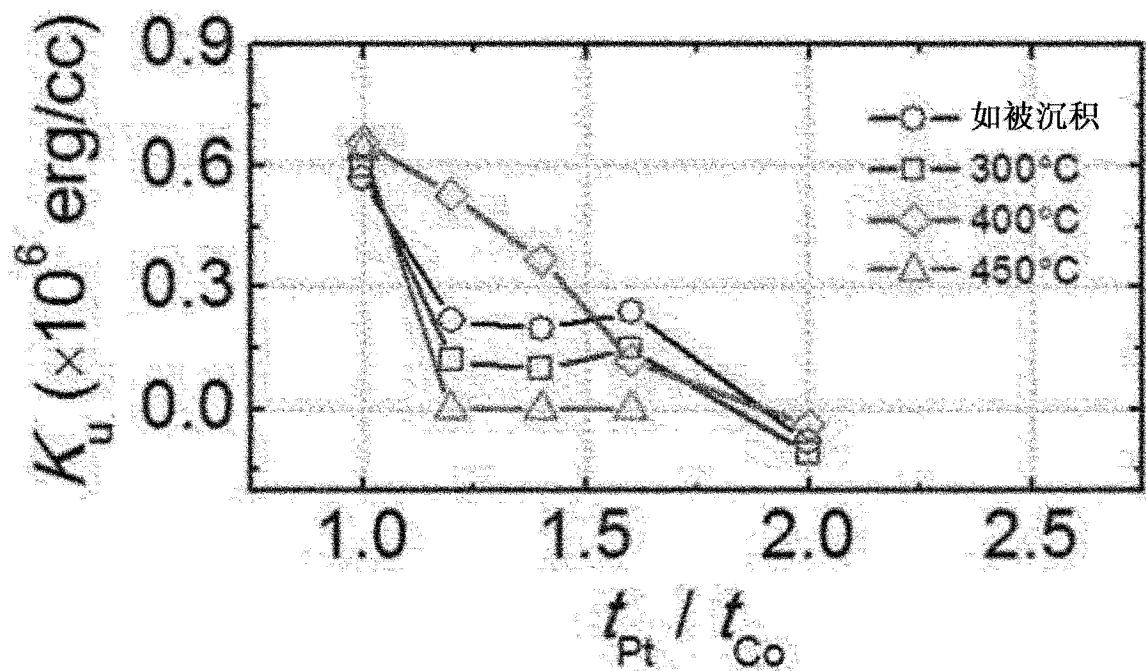


图 5b

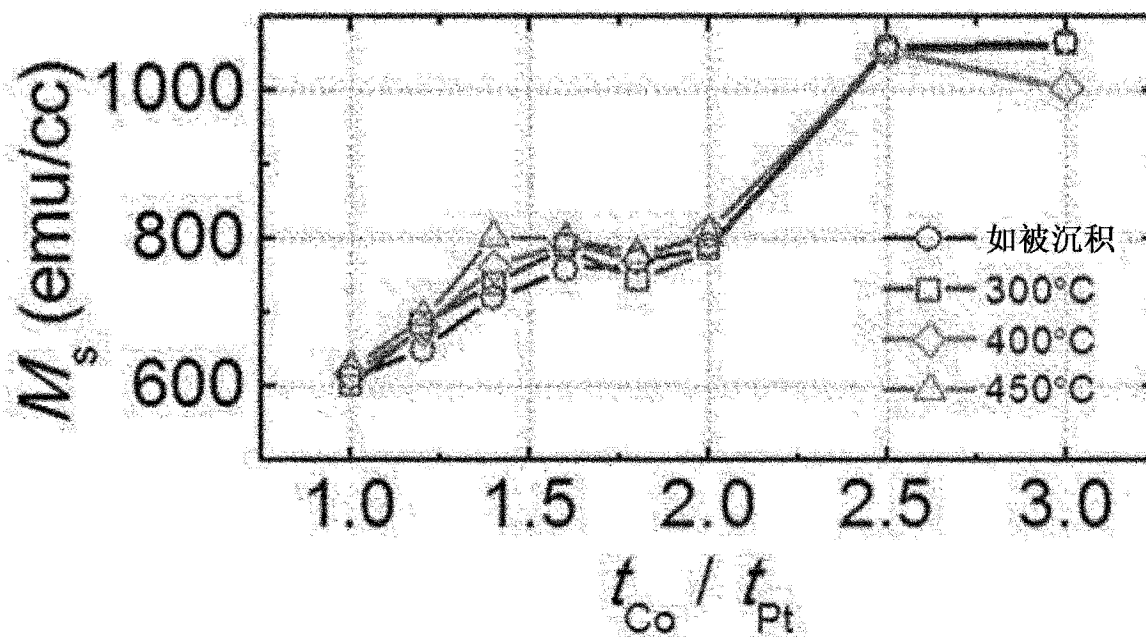


图 6a

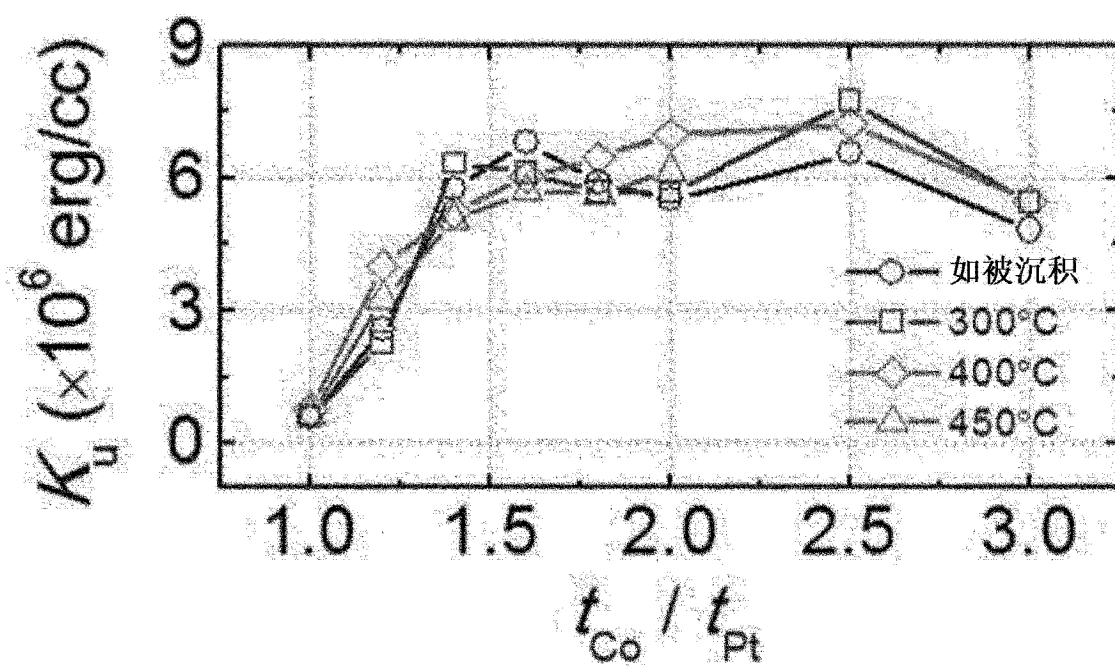


图 6b