



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101640098 B

(45) 授权公告日 2013. 05. 29

(21) 申请号 200910152089. 2

(22) 申请日 2009. 07. 28

(30) 优先权数据

2008-193156 2008. 07. 28 JP

(73) 专利权人 国立大学法人东北大学

地址 日本宫城县

专利权人 富士电机株式会社

(72) 发明人 岛津武仁 佐藤英夫 北上修

冈本聪 青井基 片冈弘康

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事

务所(普通合伙) 11277

代理人 刘新宇 李茂家

(51) Int. Cl.

H01F 10/16(2006. 01)

H01F 10/14(2006. 01)

G11B 5/66(2006. 01)

H01F 41/18(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2006-85825 A, 2006. 03. 30,

JP 特开 2004-237429 A, 2004. 08. 26,

JP 特开 2005-36294 A, 2005. 02. 10,

JP 特开 2007-107086 A, 2007. 04. 26,

CN 1962951 A, 2007. 05. 16,

H. Sato et al. Fabrication of L11

type Co-Pt ordered alloy films by

sputter deposition. 《Journal of Applied Physics》. 2008, 第 103 卷

Kiyotaka Nakahigashi et al. Phase Relation in the CuAu1-yPt_y Quasi-Binary System. 《Japanese Journal of Applied Physics》. 1983, 第 22 卷(第 12 期),

审查员 黄万国

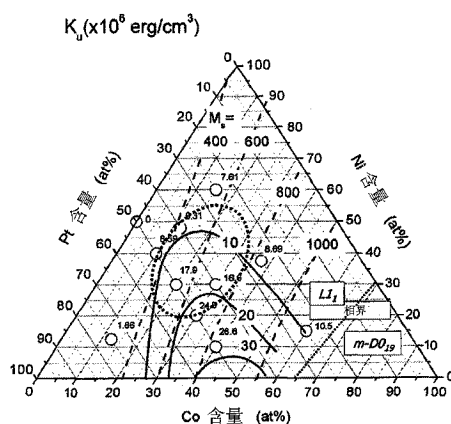
(54) 发明名称

磁性薄膜及其成膜方法以及磁性薄膜的应用装置

(57) 摘要

本发明提供一种可以较低地抑制饱和磁化 M_s 、又可以提供高 K_u 的磁性薄膜及其成膜方法、以及应用该磁性薄膜的各种装置。本发明的磁性薄膜含有具有 $L1_1$ 型的原子的有序结构的 Co-M-Pt 合金(所述 M 表示单一或者多个除 Co 和 Pt 以外的金属元素。), 例如, 所述 Co-M-Pt 合金为 Co-Ni-Pt 合金, 组成如下, Co 为 10 ~ 35(at%), Ni 为 20 ~ 55(at%), 剩余部分为 Pt。另外, 所述磁性薄膜应用于在垂直磁记录介质、隧道磁电阻元件(TMR)、磁阻式随机存储器(MRAM)、微机电系统装置等中使用的磁性膜中。

权利要求书1页 说明书7页 附图7页



1. 一种磁性薄膜,其含有具有 $L1_1$ 型原子有序结构的 Co-M-Pt 合金,其中所述 M 表示单一或者多个除 Co 和 Pt 以外的金属元素,所述 Co-M-Pt 合金为 Co-Ni-Pt 合金、Co-Ni-M2-Pt 合金、Co-Fe-Pt 合金或 Co-Fe-M3-Pt 合金,其中所述 M2 表示单一或者多个除 Co、Ni 和 Pt 以外的金属元素、所述 M3 表示单一或者多个除 Co、Fe 和 Pt 以外的金属元素。

2. 根据权利要求 1 所述的磁性薄膜,其具备包括以具有 $L1_1$ 型原子有序结构的 Co-M-Pt 合金为主要成分的铁磁性晶粒、和包围该铁磁性晶粒的非磁性晶界的粒状结构,其中所述 M 表示单一或者多个除 Co 和 Pt 以外的金属元素。

3. 根据权利要求 1 所述的磁性薄膜,其特征在于,所述磁性薄膜的易磁化轴与膜表面垂直取向。

4. 根据权利要求 1~3 的任意一项所述的磁性薄膜,其特征在于,所述 Co-M-Pt 合金为 Co-Ni-Pt 合金,组成如下,Co 为 10~35at%,Ni 为 20~55at%,剩余部分为 Pt。

5. 一种磁性薄膜的成膜方法,其特征在于,其为在基体上成膜权利要求 1~4 的任意一项所述的磁性薄膜的方法,其中,使所述基体温度在 150°C ~ 500°C 的范围,并通过成膜前的真空度为 $1\times 10^{-4}\text{Pa}$ 以下的高真空磁控溅射法来形成磁性薄膜。

6. 根据权利要求 5 所述的磁性薄膜的成膜方法,其特征在于,所述基体温度为 270°C ~ 400°C 的范围。

7. 根据权利要求 5 或 6 所述的磁性薄膜的成膜方法,其特征在于,所述真空度为 $7\times 10^{-7}\text{Pa}$ 以下。

8. 一种垂直磁记录介质,其特征在于,其为在基体上至少形成磁性层而成的垂直磁记录介质,所述磁性层为权利要求 1~4 的任意一项所述的磁性薄膜。

9. 一种隧道磁电阻元件,其特征在于,其具备权利要求 1~4 的任意一项所述的磁性薄膜。

10. 一种磁阻式随机存储器,其特征在于,其具备权利要求 1~4 的任意一项所述的磁性薄膜。

11. 一种微机电系统装置,其特征在于,其具备权利要求 1~4 的任意一项所述的磁性薄膜。

磁性薄膜及其成膜方法以及磁性薄膜的应用装置

技术领域

[0001] 本发明涉及磁性薄膜及其成膜方法以及应用磁性薄膜的装置,尤其是,涉及含有具有 $L1_1$ 型原子有序结构的合金的磁性薄膜及其成膜方法、以及其应用装置。作为所述磁性薄膜的应用装置,主要为垂直磁记录介质等磁记录介质、隧道磁电阻元件 (TMR:tunnel Magneto-Resistance)、磁阻式随机存储器 (MRAM:Magnetoresistive Random Access Memory)、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems,微机电系统) 装置,除此之外,对于公知的使用磁性薄膜的装置等,根据需要可以广泛应用。

背景技术

[0002] 使用所述磁性薄膜的各种装置中,对于磁记录介质、隧道磁电阻元件 (TMR)、磁阻式随机存储器 (MRAM)、微机电系统装置等进行简要说明。首先,说明磁记录介质。

[0003] 硬盘、磁光记录 (MO)、磁带等磁记录装置中使用的磁记录方式有面内磁记录方式和垂直磁记录方式的两种方式。多年来,硬盘中使用的磁记录方式为,对于磁盘表面进行水平的磁记录的面内磁记录方式,然而,自 2005 年前后,开始使用了可更高密度进行记录的、对于磁盘表面进行垂直的磁记录的垂直磁记录方式,因此,开始使用垂直磁记录介质作为磁记录介质。例如,专利文献 1 中对于垂直磁记录介质进行了公开。专利文献 1 中公开了低噪声特性、热稳定性和写入特性优异、可高密度记录且低成本化的垂直磁记录介质的一个例子。

[0004] 图 1 和图 2 为所述专利文献 1 中公开的垂直磁记录介质的结构的一个例子,图 1 中所示的垂直磁记录介质具有在非磁性基体 1 上依次形成有基底层 3、磁性层 4 和保护层 5 的结构。图 2 中所示的垂直磁记录介质显示了在基底层 3 和非磁性基体 1 之间设有用于基底层 3 的结晶取向性和控制结晶粒径的晶种层 2 的结构。

[0005] 另外,已知还有在基体和垂直磁性层之间设置有软磁性层的垂直双层介质,图 1 中,在非磁性基体 1 和基底层 3 之间,图 2 中,在非磁性基体 1 和晶种层 2 之间,可以设置软磁性层。

[0006] 作为垂直磁记录介质的磁记录层(磁性层)用材料,现在主要使用 CoPt 系合金结晶膜,为了用于垂直磁记录,控制结晶取向,使具有六方最密堆积 (hcp) 结构的 CoPt 系合金的 c 轴垂直于膜表面 (c 面与膜表面平行)。

[0007] 另外,作为控制磁性层结构的一个方式,在垂直磁记录介质中提出了通常被称为粒状磁性层的、具有氧化物或氮化物之类的非磁性非金属物质包围铁磁性晶粒周围的结构磁性层。可以认为,这种粒状磁性膜的非磁性非金属的晶界相可以物理性地分离铁磁性颗粒,因此,铁磁性颗粒间的磁性相互作用降低,可以抑制记录位 (recording bit) 的迁移区域中产生的锯齿形畴壁的形成,因此可以获得低噪声特性。

[0008] 另外,以垂直磁记录介质的更高记录密度化为目标,为了减少相邻磁道的磁性影响,正在积极开发磁道间设置有槽的离散磁道媒介 (DTM:discrete track media),以及,为了使每 1 个磁性颗粒可以记录 1 比特 (bit),正在积极开发通过人工方法使磁性颗粒有序排

列的位规则媒介 (BPM:bit patterned media)。

[0009] 此外,为了可以记录在具有高矫顽力的磁性膜上,也正在研究热辅助磁记录 (HAMR:Heat-Assisted Magnetic Recording、TAMR:Thermal Assist Magnetic Recording) 的记录方式,同时也在研究与这种记录方式对应的磁记录介质。

[0010] 接着,对隧道磁电阻元件 (TMR)、磁阻式随机存储器 (MRAM) 等进行说明。闪存、DRAM 等现有的存储器是使用存储单元内的电子进行记录,与此相对,MRAM 是将与硬盘等相同的磁性体用于记忆介质的存储器技术。图 3 示出了其模式结构 (出处:“自旋注入磁化反转的现状与课题”、“Materia Japan Vol. 42 No. 9”、2003 年 9 月 20 日、屋上公二郎等著、社团法人日本金属学会发行、第 646 页图 10)。MRAM 可以以地址存取时间 10ns 左右、周期时间 20ns 左右和 DRAM 的 5 倍左右与 SRAM 同样地进行高速读写。而且,具有只有闪存的十分之一左右的低耗电量和集成性等优点。

[0011] 如图 3 的 (a) 所示,MRAM 中应用了“TMR 效应”,通过用 2 层的磁性体薄膜夹住数个原子程度厚度的绝缘体薄膜,使一侧的磁性体薄膜的磁化方向对于另一侧发生变化,从而电阻值发生变化。即,如图 3 的 (b) 所示,使用了隧道磁电阻元件 (TMR)。

[0012] 另外,作为隧道磁电阻元件 (TMR),存在在反铁磁性薄膜上设置有铁磁性薄膜的结构元件。例如,专利文献 9 的图 5 中公开了具有这种结构的隧道磁电阻元件。此外,专利文献 9 的图 4 中,也公开了自旋阀型磁阻元件,这种情况也与上述隧道磁电阻元件相同,具有在反铁磁性薄膜上设置有铁磁性薄膜的结构。

[0013] 接着,说明 MEMS 装置。MEMS 是指,将机械零件部件、传感器、执行器、电路集成在一个硅基板、玻璃基板、有机材料等之上的装置。作为技术应用的例子,有投影仪的光学元件的一种 DMD (Digital Micromirror Device, 数字微镜装置)、和位于喷墨打印机的喷头部的微小喷嘴、压力传感器、加速度传感器、流量传感器等各种传感器等。今后,制造业当然更加期待在医疗领域等中的应用。上述 MEMS 装置中,一部分使用了磁性薄膜。

[0014] 然而,在上述这样的各种装置中,希望提高磁性薄膜的磁性特性,大的 K_u 、即具有单轴磁畴各向异性的垂直磁化膜的开发,对于今后的记录介质和存储器的大容量化和高密度化是必须的。尤其是,垂直磁记录介质中,ECC (exchange coupled composite, 交换耦合复合介质)、硬件栈 / 软件栈、Exchange Spring (交换弹簧) 等具有硬层和软层重叠结构的颗粒或者点的磁记录层作为将来的高密度磁记录介质的磁记录层而被提出。但是,为了充分发挥这些介质的特性,并且实现高热稳定性和优异的饱和记录特性,需要使用 10^7 erg/cm^3 数量级的 K_u 、即具有单轴磁畴各向异性的垂直磁化膜作为硬膜。另一方面,对于作为将来的高密度存储器而被期待的自旋注入反磁化型 MRAM 也在进行以下研究,通过使用 10^7 erg/cm^3 数量级的大的 K_u 、即具有单轴磁畴各向异性的垂直磁化膜,从而实现大容量化。

[0015] 另外,上述说明中, K_u 值的单位用 erg/cm^3 的单位表示,将该单位变换为 SI 单位时,通过 $\text{erg/cm}^3 = 10^{-1} \text{ J/m}^3$ 换算即可。此外,将后述的饱和磁化单位 emu/cm^3 变换为 SI 单位时,通过 $1 \text{ emu/cm}^3 = 10^3 \text{ A/m}$ 换算即可。

[0016] 作为如前述那样的具有大的 K_u 的垂直磁化膜,非专利文献 1 中公开了 Co-Pt 的 $L1_1$ 型有序合金膜。另外,非专利文献 2 和专利文献 8 中公开了 Fe-Pt 的 $L1_0$ 型有序合金膜。此外,在专利文献 2、3、4、5、6、7 中,记载了 Fe-Pt 有序合金、Fe-Pd 有序合金和 Co-Pt 有序合金等 $L1_0$ 型有序合金以及以此作为磁性层使用的磁记录介质。

[0017] 尤其是,所述非专利文献 1 中记载的 Co-Pt 的 $L1_1$ 型有序合金膜,通过提高有序度可以期待更大的 K_u 。

[0018] 然而,为了应用于垂直磁记录介质等,不仅需要大 K_u 、即具有单轴磁畴各向异性,还需要饱和磁化、即 M_s 也控制在适当的值。关于这些,例如在非专利文献 3 中进行了详细的记载。非专利文献 3 的第 180 页的左栏中,基于图 3 和图 4,记载了“饱和磁化 M_s 的值在 $300 \sim 700 \text{emu/cm}^3$ 的区域热稳定性良好,即使在不考虑由于热扰动引起的矫顽力降低的情况下,为了将磁化曲线的矩形比维持为 1,饱和磁化 M_s 的值也需要为 600emu/cm^3 以下”。

[0019] 即,各种装置中使用的磁性薄膜,根据目的,需要较低地抑制饱和磁化 M_s ,同时,又能获得高 K_u 、即单轴磁畴各向异性。

[0020] 专利文献 1:日本特开 2006-85825 号公报

[0021] 专利文献 2:日本特开 2002-208129 号公报

[0022] 专利文献 3:日本特开 2003-173511 号公报

[0023] 专利文献 4:日本特开 2002-216330 号公报

[0024] 专利文献 5:日本特开 2004-311607 号公报

[0025] 专利文献 6:日本特开 2001-101645 号公报

[0026] 专利文献 7:日本国际公开 W02004/034385 号再公表公报

[0027] 专利文献 8:日本特开 2004-311925 号公报

[0028] 专利文献 9:日本特开 2005-333106 号公报

[0029] 非专利文献 1:H. Sato, et al., " Fabrication of $L1_1$ type Co-Pt ordered alloy films by sputter deposition", J. Appl. Phys., 103, 07E114 (2008)

[0030] 非专利文献 2:S. Okamoto et al., " Chemical-order-dependent magnetic anisotropy and exchange stiffness constant of $\text{FePt}(001)$ epitaxial films", Phys. Rev. B, 66, 024413 (2002)

[0031] 非专利文献 3:Y. Inaba, et al., " Magnetic Properties of Hard/Soft-Stacked Perpendicular Media Having Very Thin Soft Layers with a High Saturation Magnetization" ., J. Magn. Soc. Jpn., 31, 178 (2007)

发明内容

[0032] 发明要解决的问题

[0033] 本发明鉴于上述问题,本发明的课题在于提供一种可以较低地抑制饱和磁化 M_s 、又可以提供高 K_u 、即单轴磁畴各向异性的磁性薄膜及其成膜方法、以及应用该磁性薄膜的各种装置。

[0034] 用于解决问题的方案

[0035] 上述课题通过以下而实现。即,本发明的磁性薄膜,其特征在于,其含有具有 $L1_1$ 型原子有序结构的 Co-M-Pt 合金,其中,所述 M 表示单一或者多个除 Co 和 Pt 以外的金属元素。(方案 1)。

[0036] 另外,本发明的磁性薄膜,其特征在于,其具备包括以具有 $L1_1$ 型的原子的有序结构的 Co-M-Pt 合金(所述 M 表示单一或者多个除 Co 和 Pt 以外的金属元素。)为主要成分的铁磁性晶粒、和包围其的非磁性晶界的粒状结构(方案 2)。

[0037] 此外,上述方案1或2所述的磁性薄膜的特征在于,磁性薄膜的易磁化轴与膜表面垂直取向(方案3)。

[0038] 另外,上述方案1~3的任意一项所述的磁性薄膜中,所述Co-M-Pt合金优选为Co-Ni-Pt合金或Co-Ni-M2-Pt(所述M2表示单一或者多个除Co、Ni和Pt以外的金属元素。)(方案4)。

[0039] 此外,上述方案1~3的任意一项所述的磁性薄膜中,所述Co-M-Pt合金优选为Co-Ni-Pt合金,组成优选如下,Co为10~35at%,Ni为20~55at%,剩余部分为Pt(方案5)。

[0040] 另外,上述方案1~3的任意一项所述的磁性薄膜中,所述Co-M-Pt合金可以为Co-Fe-Pt合金或Co-Fe-M3-Pt(所述M3表示单一或者多个除Co、Fe和Pt以外的金属元素。)(方案6)。

[0041] 接下来,作为磁性薄膜的成膜方法的发明,优选为下述发明。即,其特征在于,其为在基体上成膜方案1~6的任意一项所述的磁性薄膜的方法,其中,使所述基体温度在150℃~500℃的范围,并通过成膜前的真空度为 1×10^{-4} Pa以下的高真空磁控溅射法来形成磁性薄膜(方案7)。

[0042] 另外,上述方案7所述的磁性薄膜的成膜方法中,所述基体温度优选为270℃~400℃的范围(方案8)。

[0043] 此外,上述方案7或8所述的磁性薄膜的成膜方法中,所述真空度优选为 7×10^{-7} Pa以下(方案9)。

[0044] 接下来,作为各种装置的发明,优选为下述发明。即,一种垂直磁记录介质,其特征在于,其为在基体上至少形成磁性层而成的垂直磁记录介质,所述磁性层为方案1~6的任意一项所述的磁性薄膜。(方案10)。

[0045] 另外,一种隧道磁电阻元件,其特征在于,其具备上述方案1~6的任意一项所述的磁性薄膜(方案11)。此外,一种磁阻式随机存储器,其特征在于,其具备上述方案1~6的任意一项所述的磁性薄膜(方案12)。此外,一种微机电系统装置,其特征在于,其具备上述方案1~6的任意一项所述的磁性薄膜(方案13)。

[0046] 接下来,以Co-Ni-Pt合金为例,对L1₁型原子有序结构、和具有该结构的合金的磁性薄膜的概要和优点、该磁性薄膜的制造方法的概要等进行说明。Co-Fe-Pt合金,虽然其特性倾向具有部分差异,但从本发明的技术思想的观点出发,可叙述相同的说明。

[0047] L1₁型结构是指,以fcc结构为基本的结晶结构,其原子位置具有周期性。具体而言,作为原子密排面的(111)面的结构为,由以(Co-Ni)为主要成分的原子面和以Pt为主要成分的原子面1原子层1原子层交替层积而成。例如,以(Co-Ni)₅₀Pt₅₀组成完全有序化的、即原子容纳于理想的位置的L1₁型结构是指,仅由Co-Ni构成的原子面和仅由Pt构成的原子面1原子层1原子层交替层积而成的结构。实际上是无法得到这种理想的结构,但是,希望尽可能增大将有序度S用S_{max}进行归一化的S/S_{max},其中S_{max}为考虑化学计量学的原子丰度比而理论上能实现的有序度的最大值。

[0048] 接下来,对L1₁型Co-Ni-Pt薄膜的概要和优点进行说明。

[0049] 1) 该L1₁型Co-Ni-Pt膜具有较大的单轴磁畴各向异性Ku,与由于具有高Ku而通常受到广泛瞩目的L1₀型Fe-Pt有序化合金膜相比,具有以下方面的优势。

[0050] (1) 如果提高原子排列的有序度,与 $L1_0$ 型 Fe-Pt 有序化合金膜相比,可以得到更大的 K_u 。

[0051] (2) 可以在 $150 \sim 500^\circ\text{C}$ 、更优选在 $270 \sim 400^\circ\text{C}$ 的比较低的基础温度下形成。公知的 $L1_0$ 型 Fe-Pt 需要 600°C 左右。

[0052] (3) 结晶取向性、即作为易磁化轴的 $\langle 111 \rangle$ 轴的垂直取向的控制性优异。

[0053] 2) 另外, $L1_1$ 型 Co-Ni-Pt 膜的 K_u 以及饱和磁化 M_s , 均依赖组成而发生变化, 因此, 通过调整组成, 可以控制 K_u 和 M_s 。尤其是, 详细内容如后所述, 通过用 Ni 替换 Co, 与 Co-Pt 二元相比, 可以在较低地抑制 M_s 的同时, 实现高 K_u 化。即, 与二元合金的具有相同的 M_s 的组成比较, 存在可以获得高 K_u 的区域。而且, 与 Co-Pt 二元相比, 可以在低 Pt 浓度下实现相同的特性。

[0054] 接下来, 对磁性薄膜的制作方法进行说明。

[0055] 前述本发明的磁性薄膜可以通过超高真空磁控溅射法来形成, 超高真空对于获得有序度高的 $L1_1$ 型结构很重要。至少不能利用真空性能差的装置进行制作。例如, 通过使用 $\text{MgO}(111)$ 单结晶基板作为基板, 可以获得易磁化轴 $\langle 111 \rangle$ 轴与膜表面垂直取向的单结晶膜。另外, 通过使用玻璃盘、附有热氧化膜的 Si 基板等平滑性良好的基板, 可以获得易磁化轴 $\langle 111 \rangle$ 轴与膜表面垂直取向的多结晶膜。此外, 单结晶膜和多结晶膜的情况下, 均优选使用 Ru 或者 Pt 的基底层。而且, 基础温度为 360°C 左右时, 可以获得有序度最高的磁性薄膜。所形成的 $L1_1$ 型结构, 尤其至接近 400°C 的温度为止是稳定的, 除了特殊的情况, 实用上的热稳定性优异。

[0056] 发明的效果

[0057] 根据本发明, 可以提供可较低地抑制饱和磁化 M_s 、同时可以提供高 K_u 、即单轴磁畴各向异性的磁性薄膜及其成膜方法、以及应用该磁性薄膜的满足需要的合适的各种装置。

附图说明

[0058] 图 1 为本发明的实施方式所涉及的垂直磁记录介质的示意截面图。

[0059] 图 2 为与图 1 不同的本发明的实施方式所涉及的垂直磁记录介质的示意截面图。

[0060] 图 3 为本发明的实施方式所涉及的具备隧道磁电阻元件 (TMR) 的磁阻式随机存储器 (MRAM) 的结构示意图。

[0061] 图 4 为本发明的实施例所涉及的 $L1_1$ -Co-Ni-Pt 垂直磁化膜的 K_u 和 M_s 的组成依赖性的示意图。

[0062] 图 5 与图 4 的实施例相关, 为将 M_s 的组成依赖性 (a) 与 K_u 的组成依赖性 (b) 分开表示的示意图。

[0063] 图 6 涉及本发明的 Co-Ni-Pt 合金和 Co-Fe-Pt 合金的磁性薄膜的实施例, 与多种组成相关, 表示 K_u 与 Ni (或者 Fe 量) 量 x 的关系。

[0064] 图 7 涉及本发明的 Co-Ni-Pt 合金和 Co-Fe-Pt 合金的磁性薄膜的实施例, 与多种组成相关, 表 M_s 与 Ni (或者 Fe 量) 量 x 的关系。

[0065] 图 8 与本发明相关, 为在 $\text{MgO}(111)$ 基板上形成的 $(\text{Co}_{100-x}\text{Ni}_x)_{50}\text{Pt}_{50}$ 组成对于 X 射线衍射图的 Ni 量 x 的依赖性的示意图。

- [0066] 附图标记说明
- [0067] 1 非磁性基体
- [0068] 2 晶种层
- [0069] 3 基底层
- [0070] 4 磁性层
- [0071] 5 保护层

具体实施方式

[0072] 接下来,对本发明的实施方式进行说明。首先,基于图4~图8,对于具有 $L1_1$ 型原子有序结构的Co-Ni-Pt合金和Co-Fe-Pt合金的磁性薄膜的实施例进行说明。

[0073] 图4为本发明的实施例所涉及的 $L1_1$ -Co-Ni-Pt垂直磁化膜的Ku和Ms的组成依赖性的示意图,Co-Ni-Pt的各组成(at%)用三相网格表示,垂直磁化膜显示的是在基板温度 360°C 下,在MgO(111)基板上形成的情况。在图4右下方,在标记有Phase boundary(相界)的比较细的虚线的左侧的宽阔区域中,可以实现 $L1_1$ 型的结构。所述虚线的右侧的狭窄区域,被称作 $m\text{-DO}_{19}$ 型,被制成了与 $L1_1$ 型不同的结构。

[0074] 另外,图4中,用○标记表示的各点上附注有Ku值,其等值线用粗实线表示。此外,Ms的等值线用粗长的虚线表示。另外,图中用粗虚线描绘的椭圆状的区域表示的是,与Co-Pt二元相比,适合较低地抑制Ms、同时可以实现高Ku化的区域。而且,如果通过改善成膜条件等而提高有序度的话,该区域会进一步扩大。另外,该区域与Co-Pt二元比较,具有可以通过少量Pt而实现相同的磁特性的优点。

[0075] 上述适合的区域如上述方案5所述,组成大致如下,Co为 $10\sim 35(\text{at}\%)$,Ni为 $20\sim 55(\text{at}\%)$,剩余部分为Pt。并且,该组成下,Ku的值大致为 $1\sim 2.2\times 10^7\text{erg}/\text{cm}^3$,略微宽范围来看,为 $1\sim 2.5\times 10^7\text{erg}/\text{cm}^3$,Ms的值大致为 $400\sim 800\text{emu}/\text{cm}^3$ 。

[0076] 图5与上述图4的实施例相关,为了便于理解,将Ms的组成依赖性与Ku的组成依赖性分开表示,(a)图中用粗实线表示Ms的等值线,(b)图中用粗实线表示Ku的等值线。

[0077] 接下来,说明图6和图7。图6涉及本发明的Co-Ni-Pt合金和Co-Fe-Pt合金的磁性薄膜的实施例,与多种组成相关,表示Ku与Ni(或者Fe量)量x的关系,图7表示Ms与Ni(或者Fe量)量x的关系。

[0078] 图6和图7中所示的 $L1_1$ 型有序合金通过超高真空(UHV;Ultra High Vacuum)用的DC磁控溅射装置(ANELVA,E8001)制作。开始成膜前的到达真空度为 $7\times 10^{-7}\text{Pa}$ 以下。溅射中使用杂质浓度为 $2\sim 3\text{ppb}$ 的超高纯度气体。基板使用MgO(111)单结晶基板。在Co-M-Pt合金(Co-Ni-Pt合金或Co-Fe-Pt合金)和基板之间设置Pt基底层,在Co-M-Pt合金上设置Pt覆盖层。所述Pt基底层、Co-M-Pt合金层、Pt覆盖层的膜厚分别制成20nm、10nm和2nm。

[0079] Co-M-Pt合金层的成膜时的基板温度设为 360°C 或 390°C ,在图6和图7的上方所示的Co-M-Pt合金的各组成的末尾分别标记为360或390。Co-M-Pt合金层通过共溅射法形成,Co、Ni(或者Fe)和Pt的各成膜速度依赖于组成和成膜条件,设为 $1.4\sim 4.7\text{nm}/\text{min}$ 。

[0080] $L1_1$ 型有序结构的确认是通过对后述的X射线衍射图进行超晶格衍射线观测而进行的。另外,Ms、即饱和磁化,通过振动样品磁强计(VSM;Vibrating Sample Magnetometer)

求得。Ku、即单轴磁畴各向异性，通过 GST (Generalized Sucksmith-Thompson, 广义 Sucksmith-Thompson) 法求得。此外，Ku 还可以通过转矩磁强计求得。

[0081] 由图 6 可知，在图 6 所示的范围内，即便将 Co 用 Ni (或者 Fe) 替换，Ku 也可以维持在约 10^7erg/cm^3 以上的较大值。另外，由图 7 可知，即便将 Co 用 Ni (或者 Fe) 替换，也可以使 Ms 在约 $400 \sim 1200 \text{emu/cm}^3$ 的较广范围内变动。

[0082] 此外，在图 6 和图 7 所示的实施例中，用 Ni (或者 Fe) 替换 Co 的比例越大，Ku 和 Ms 的值越表现出大致下降的倾向，Co-Fe-Pt 合金的 Ms 的值表现出，即使 Fe 的比例增大 Ms 的值也几乎不发生变化的倾向。然而，根据图 4 或图 5 的三相网络的实施例的结果，未必为上述那样的倾向，根据组成不同而表现出不同的倾向。无论哪种情况，由所述图 4 ~ 7 的实施例可知，通过调整组成可以控制 Ku 和 Ms。

[0083] 接下来，对图 8 进行说明。图 8 为在 MgO(111) 基板上形成的 $(\text{Co}_{100-x}\text{Ni}_x)_{50}\text{Pt}_{50}$ 组成对于 X 射线衍射图的 Ni 量 x 的依赖性的示意图，该例将基板温度设定为 360°C ，薄膜的基底层使用 Pt。

[0084] 均只观察来自密排面的衍射线，可知密排面的取向与膜表面平行。另外，观察了起因于每 2 原子层的原子的周期性的 $L1_1-(111)$ 面和 $L1_1-(333)$ 面的衍射线， $L1_1$ 型的有序化结构得到实现。所有薄膜均具有在膜表面垂直方向 ($\langle 111 \rangle$ 方向) 存在易磁化轴的高 Ku，证明了向 $L1_1$ 型的有序化。未形成 $L1_1$ 型的情况下，该组成域中的结晶结构形成 fcc，因此，其磁畴各向异性不是单轴性，可以容易地推测出其绝对值为 $1 \times 10^6 \text{erg/cm}^3$ 以下。另外，严格地讲，由于 $L1_1$ 型的原子排列的有序化，膜表面垂直方向的面间隔略有缩小，基本单位变为菱形结构，这里，为了避免混乱，而用以立方晶为基准的指数进行标记。

[0085] 接下来，对磁性薄膜的应用装置的实施方式进行说明。所述磁性薄膜通过用于上述背景技术中所述的垂直磁记录介质、隧道磁电阻元件 (TMR)、磁阻式随机存储器 (MRAM)、MEMS 装置等中使用的磁性薄膜，可以实现满足装置需要的合适的装置。

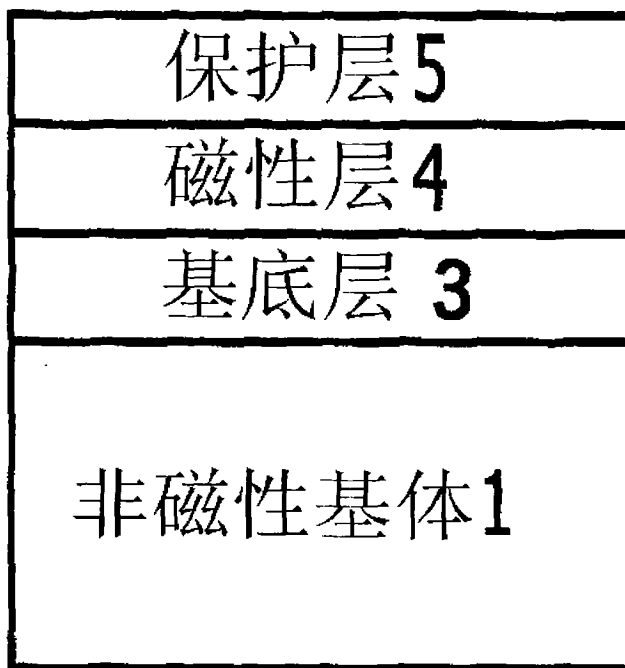


图 1

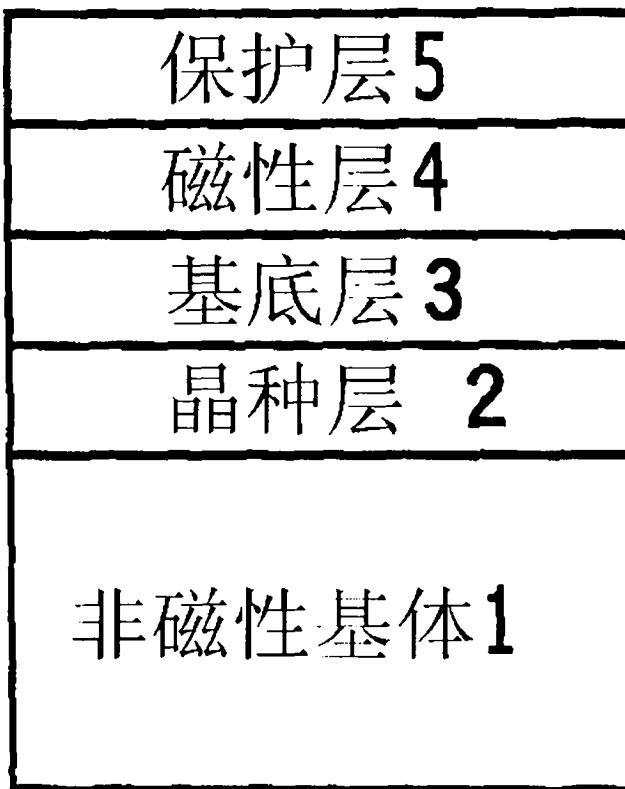


图 2

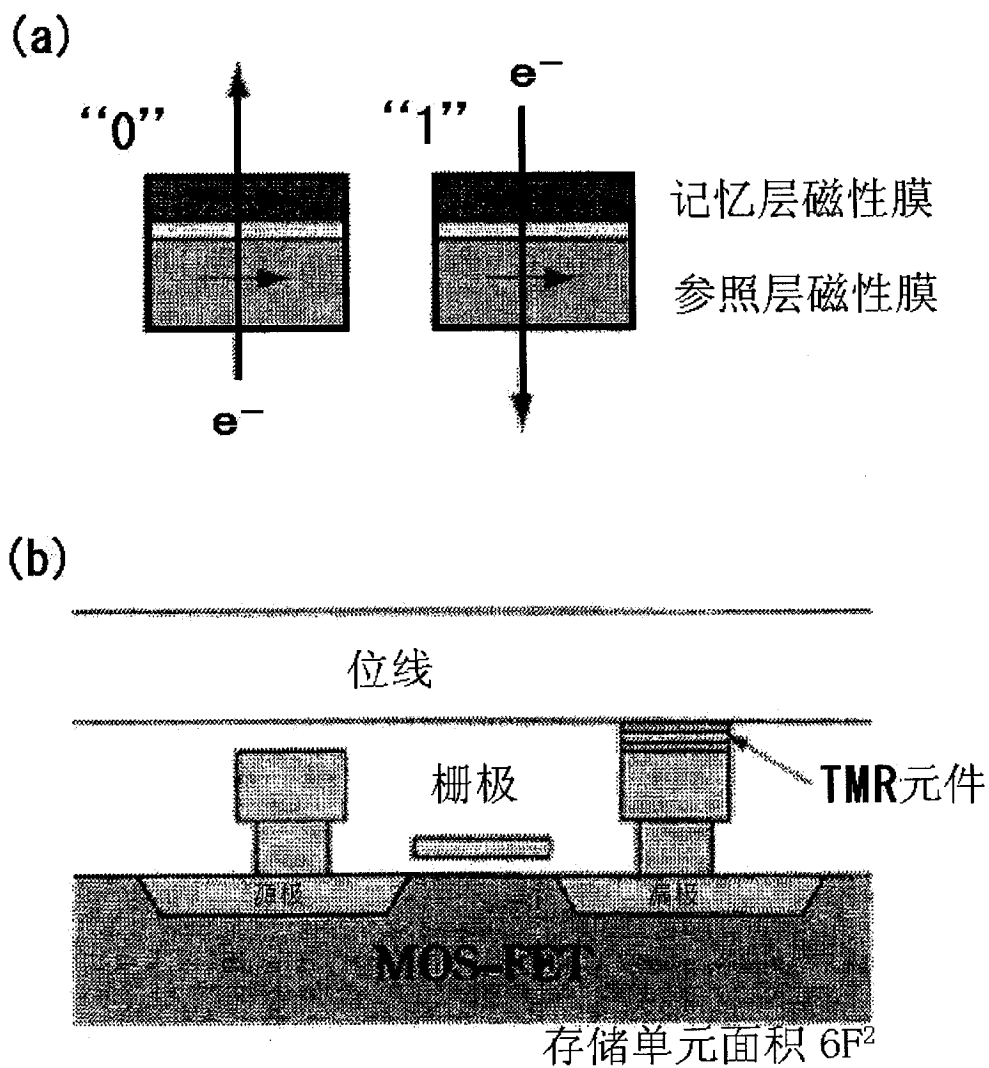


图 3

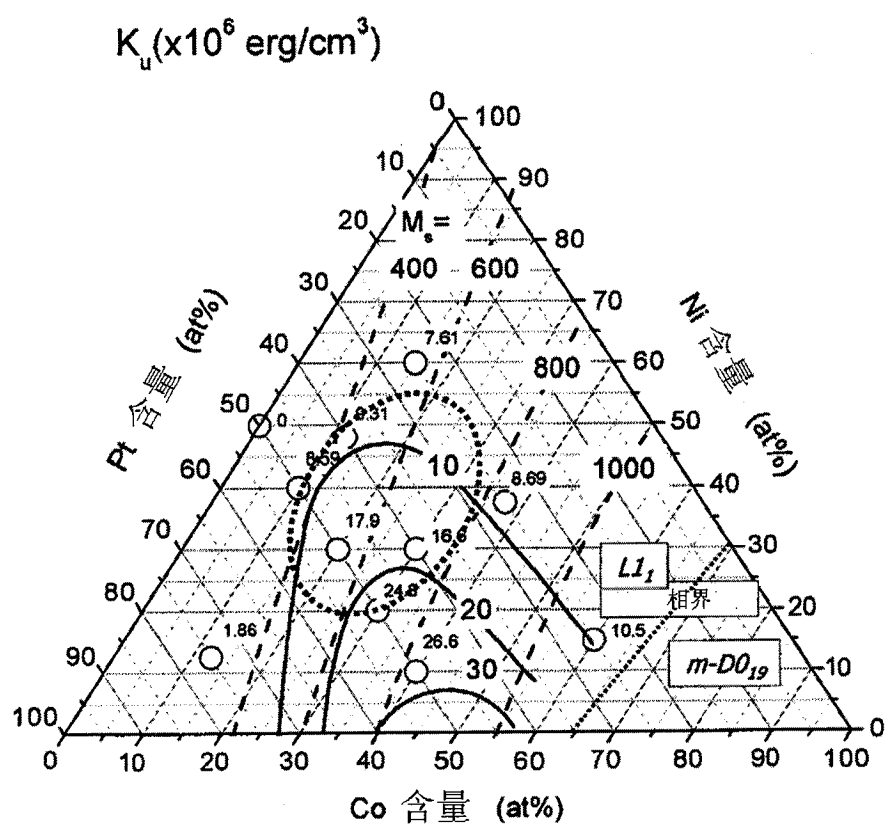


图 4

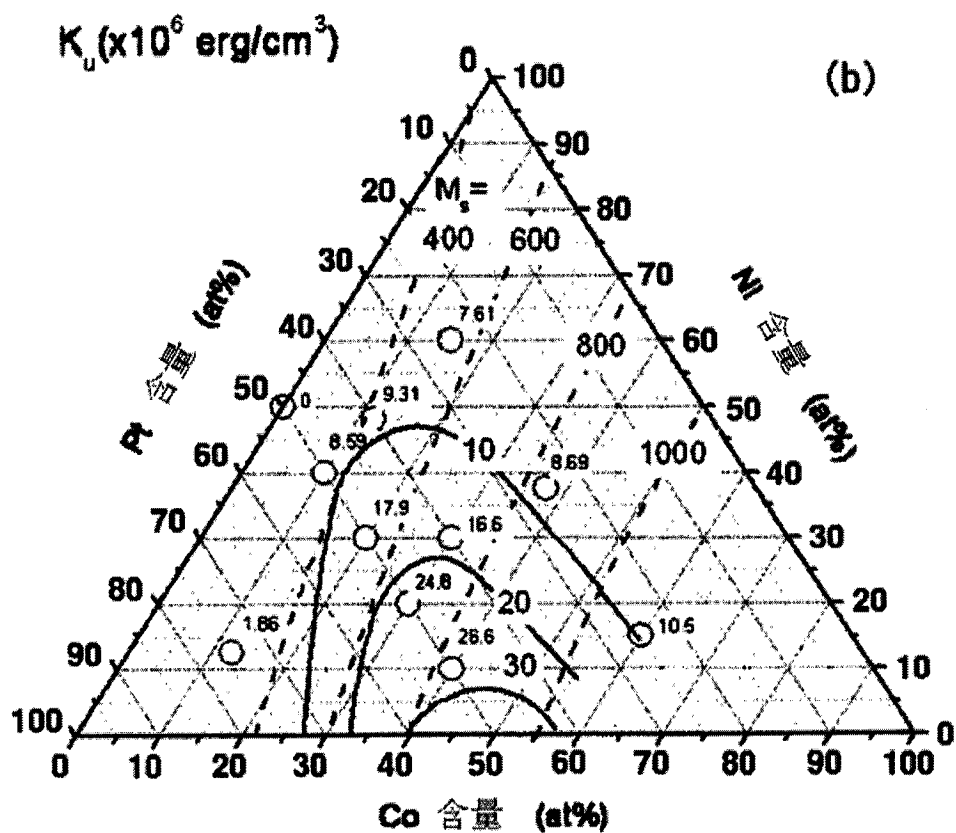
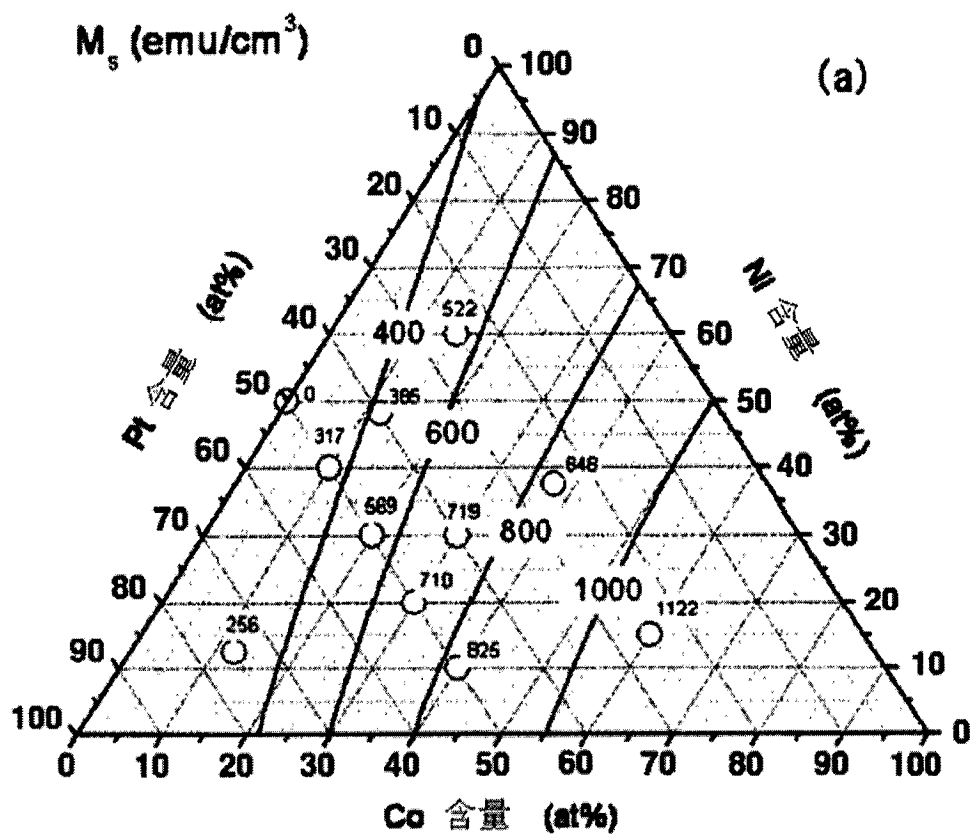


图 5

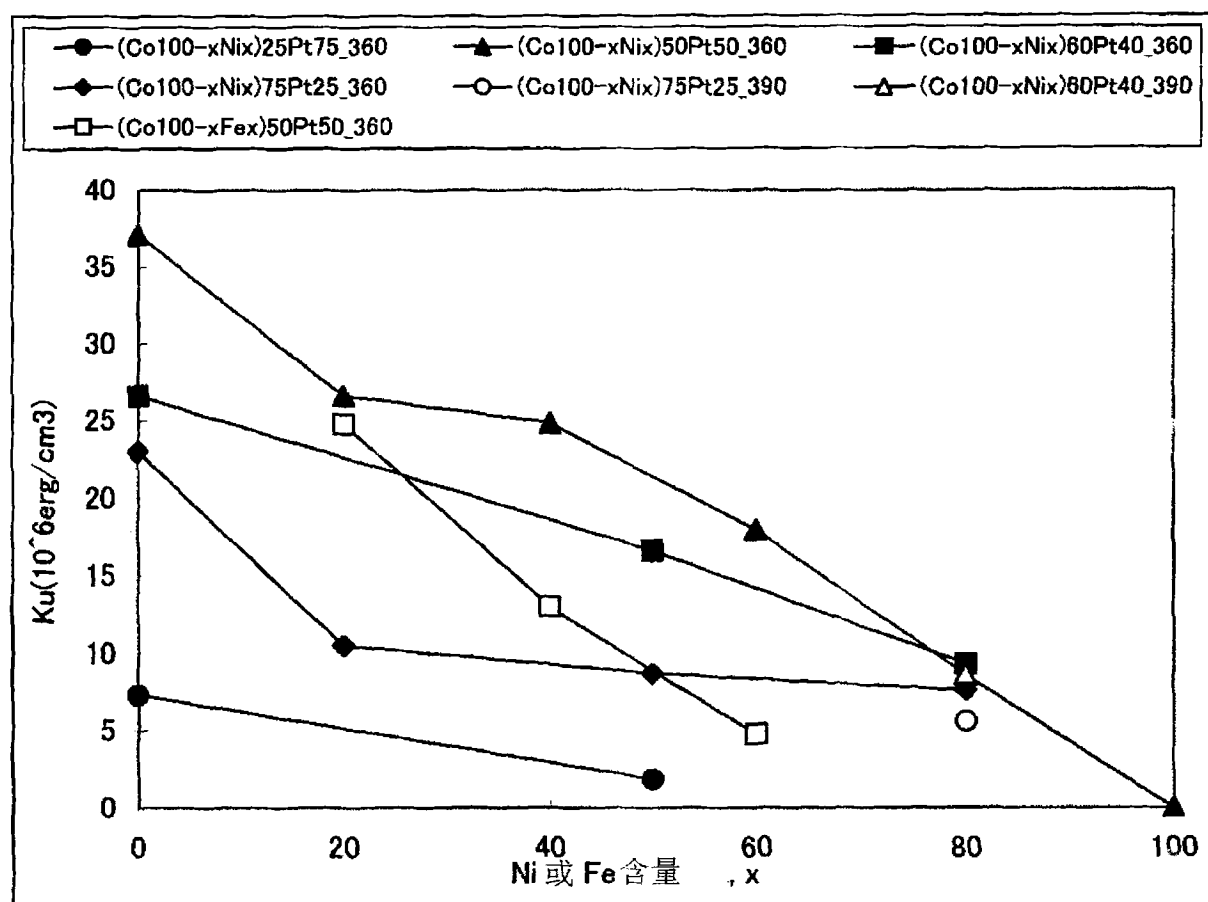


图 6

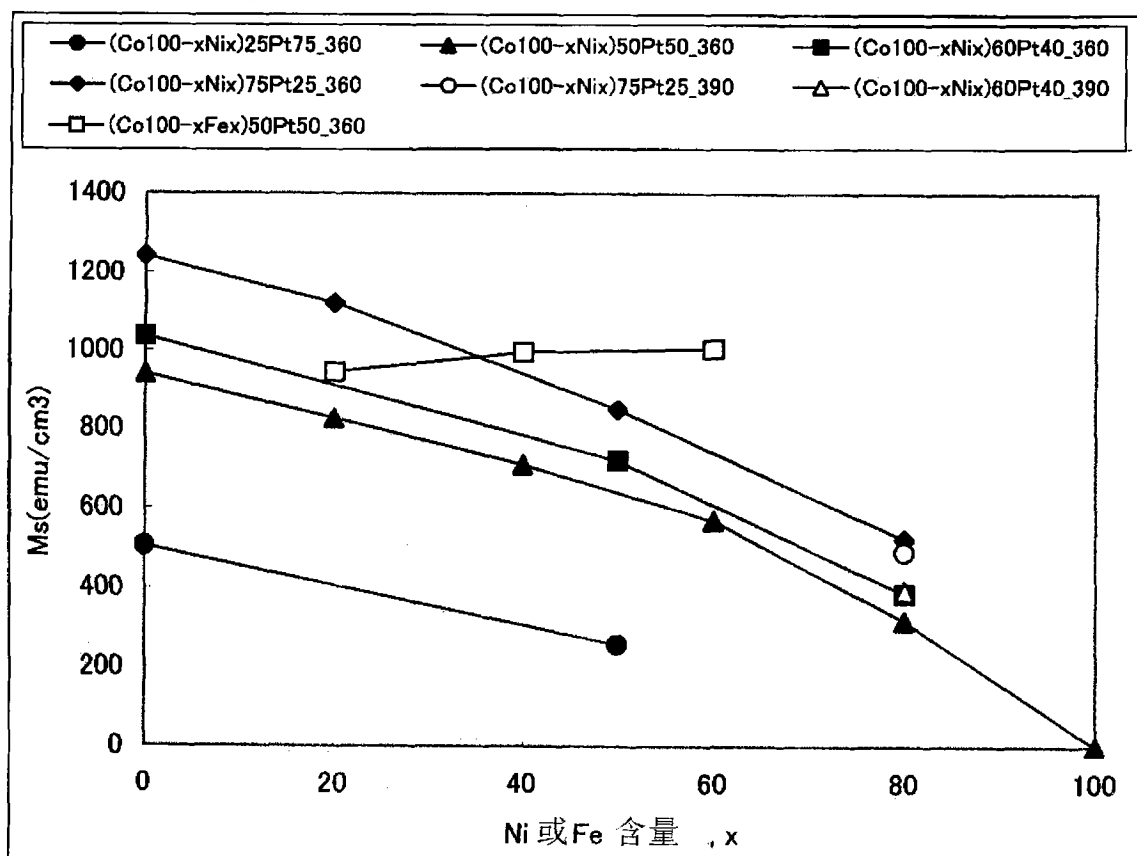


图 7

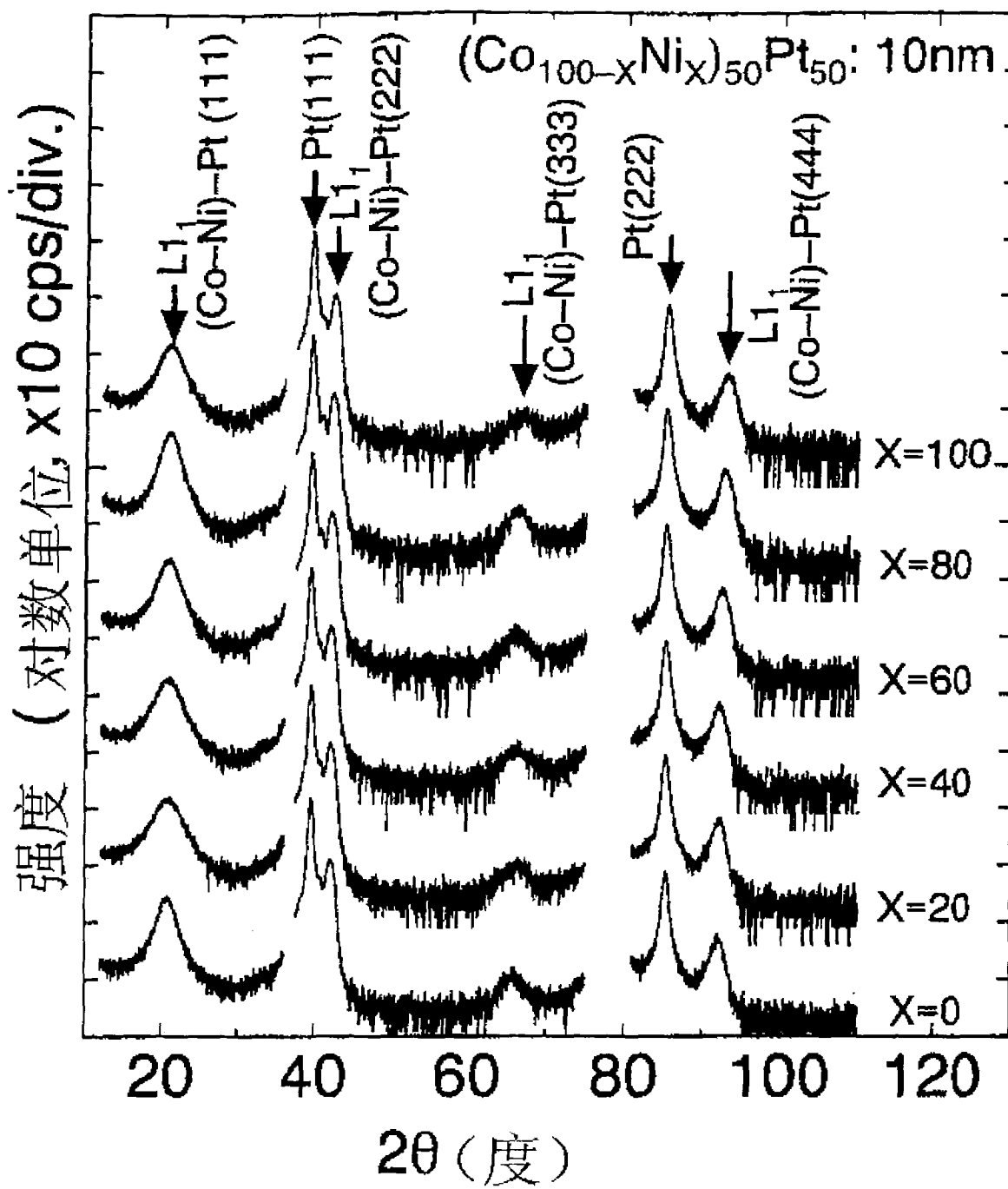


图 8