



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103137855 B

(45)授权公告日 2017.04.05

(21)申请号 201210488520.2

(22)申请日 2012.11.26

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103137855 A

(43)申请公布日 2013.06.05

(30)优先权数据

2011-263288 2011.12.01 JP

(73)专利权人 索尼公司

地址 日本东京都

(72)发明人 山根一阳 细见政功 大森广之

别所和宏 肥后丰 浅山彻哉

内田裕行

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 余刚 吴孟秋

(51)Int.Cl.

H01L 43/08(2006.01)

G11C 11/15(2006.01)

(56)对比文件

CN 101162756 A, 2008.04.16,

CN 1848245 A, 2006.10.18,

CN 1534605 A, 2004.10.06,

CN 1967892 A, 2007.05.23,

CN 1967891 A, 2007.05.23,

US 2004/0021990 A1, 2004.02.05,

审查员 王小峰

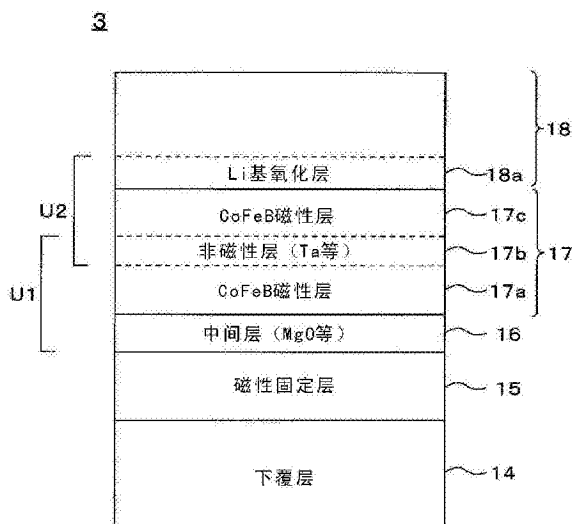
权利要求书2页 说明书16页 附图7页

(54)发明名称

存储元件和存储设备

(57)摘要

本发明公开一种存储元件和存储设备。存储元件具有层叠的结构,包括:存储层,其具有与膜表面垂直的磁化,并且磁化方向取决于信息而变化,并包括Co-Fe-B磁性层,磁化方向通过在层叠结构的层叠方向施加电流以在存储层中记录信息而改变,磁化固定层,其具有与变成存储在存储层中的信息的基准的膜表面垂直的磁化,以及中间层,其由非磁性材料形成,并设置在存储层和磁化固定层之间;第一氧化层和第二氧化层。



1. 一种存储元件,包括:

层叠结构,包括:

存储层,其具有与膜表面垂直的磁化,并且磁化方向取决于信息而变化,并包括Co-Fe-B磁性层,通过在所述层叠结构的层叠方向施加电流而改变所述磁化方向以在所述存储层中记录所述信息,

磁化固定层,其具有与成为存储在所述存储层中的信息的基准的膜表面垂直的磁化,以及

中间层,其由非磁性材料形成,并设置在所述存储层和所述磁化固定层之间;

第一氧化层,其至少形成在与所述存储层接触的所述中间层和所述存储层之间的界面上;以及

第二氧化层,其至少形成在位于所述中间层相反的一侧与所述存储层接触的不同层和所述存储层之间的界面上,所述不同层的所述第二氧化层是包含Li的Li基氧化层;以及

下覆层,形成在所述磁化固定层的与所述中间层相反的一侧上,并且在所述下覆层中层叠包括不同材料的多个层;

所述存储层包括所述Co-Fe-B磁性层和至少一个非磁性层,所述非磁性层包含Ta。

2. 根据权利要求1所述的存储元件,其中

所述Li基氧化层包括由Al、Si、Cu、Mg、P、B和C中的至少一者和Li构成的氧化物。

3. 根据权利要求1所述的存储元件,其中

所述Li基氧化层包括由Li和氧构成的氧化物。

4. 根据权利要求1所述的存储元件,其中

至少所述中间层的与所述存储层接触的界面包括MgO膜。

5. 根据权利要求1所述的存储元件,其中

还包括:层叠形成氧化层、所述Co-Fe-B磁性层和所述非磁性层的层叠结构。

6. 根据权利要求5所述的存储元件,其中

所述层叠结构由所述中间层的所述氧化层、所述存储层的所述Co-Fe-B磁性层和所述存储层的所述非磁性层形成。

7. 根据权利要求5所述的存储元件,其中

所述层叠结构由所述不同层的所述Li基氧化层、所述存储层的所述Co-Fe-B磁性层和所述存储层的所述非磁性层形成。

8. 一种存储设备,包括:

存储元件,其具有层叠结构,包括:

存储层,其具有与膜表面垂直的磁化,并取决于信息而改变磁化方向,并包括Co-Fe-B磁性层,通过在所述层叠结构的层叠方向施加电流而改变所述磁化方向以在所述存储层中记录所述信息,

磁化固定层,其具有与成为存储在所述存储层中的信息的基准的膜表面垂直的磁化,以及

中间层,其由非磁性材料形成,并设置在所述存储层和所述磁化固定层之间;

第一氧化层,其至少形成在与所述存储层接触的所述中间层和所述存储层之间的界面上;

第二氧化层,其至少形成在位于所述中间层相反的一侧与所述存储层接触的不同层和所述存储层之间的界面上,所述不同层的所述第二氧化层是包含Li的Li基氧化层;以及

下覆层,形成在所述磁化固定层的与所述中间层相反的一侧上,并且在所述下覆层中层叠包括不同材料的多个层;以及

彼此相交且夹着所述存储元件的两个类型的互连,电流在层叠方向上通过所述互连流到所述存储元件;

所述存储层包括所述Co-Fe-B磁性层和至少一个非磁性层,所述非磁性层包含Ta。

存储元件和存储设备

技术领域

[0001] 本发明涉及具有多个磁性层并使用自旋转转矩磁化切换进行记录的存储元件和存储设备。

背景技术

[0002] 随着从移动终端到大容量服务器的各种信息设备的快速发展,已经在构成该设备的诸如存储元件和逻辑元件的元件中追求更高性能的改进,诸如更高的集成度、速度的增大和更低的功耗。尤其是,半导体非易失性存储器取得显著的进步,并且作为大容量文件存储器的闪存存储器以硬盘驱动器被闪存存储器替换的速率普及。同时,FeRAM(铁电随机访问存储器)、MRAM(磁性随机访问存储器)、PCRAM(相变随机访问存储器)等的研发已经取得进展,作为当前一般使用的非闪存存储器、DRAM等的替代,以为了代码存储或者作为工作的存储器而使用它们。这些的一部分已经在实践中使用。

[0003] 这当中,MRAM使用磁性材料的磁性方向执行数据存储,使得能进行高速和几乎无限制的重写(10^{15} 次以上),并且因而,已经在诸如工业自动化和航空的领域中使用。期望MRAM在将来由于高速操作和可靠性而用于代码存储或者工作存储器。然而,MRAM具有与降低功耗和增大容量相关的挑战。这是由于MRAM的记录原理(即,使用从互连产生的电流磁场来切换磁化的方法)引起的基本问题。

[0004] 作为解决此问题的方法,正在研究不使用电流磁场的记录方法(即,磁化切换方法)。具体地,已经积极地研究自旋转转矩磁化切换(例如,参见日本未审查专利申请公报No.2003-17782和2008-227388、美国专利No.6,256,223、Physical Review B,54,9353(1996),Journal of Magnetism andMagnetic Materials,159,L1(1996))。

[0005] 使用自旋转转矩磁化切换的存储元件如同MRAM那样通常包括MTJ(磁性隧道结)。

[0006] 此构造使用其中当经过磁性层(其在任意方向固定)自旋转极化电子进入另一磁性层(方向不固定)时,转矩(还称为自旋转移矩)施加到磁性层,并且当任意阈值以上的电流流动时,切换自由磁性层。通过改变电流的极性执行0/1的重写。

[0007] 在比例约为0.1 μ m的存储元件的情况下,用于此切换的电流的绝对值是1mA以下。此外,由于此电流值与元件的体积成比例的减小,比例缩放是可行的。此外,由于不需要在MRAM中产生记录电流磁场的字线,存在单元结构变得简单的优点。

[0008] 以下,利用自旋转转矩磁化切换的MRAM将称为自旋转转矩磁化随机访问存储器(ST-MRAM)。自旋转转矩磁化切换还称为自旋转注射磁化切换。对ST-MRAM有很大的期望,其作为非易失性存储器,能够实现低功耗和更大容量,同时维持其中可以执行高速和几乎无限制重写的MRAM的优点。

发明内容

[0009] 在MRAM中,写入互连(字线和位线)与存储元件分开设置,并且信息由通过向写入互连施加电流而产生的电流磁场而写入(记录)。因而,写入所需的电流能充分地流经写入

互连。

[0010] 另一方面,在ST-MRAM中,需要流到存储元件的电流诱导自旋转转矩磁化切换,以切换存储层的磁化方向。

[0011] 通过以此方式将电流直接施加到存储元件写入(记录)信息。为了选择进行写入的存储单元,存储元件连接到旋转晶体管以构造存储单元。在此情况下,流到存储元件的电流受到能流到选择晶体管的电流(选择晶体管的饱和电流)的量的限制。

[0012] 因而,需要以等于或者小于选择晶体管的饱和电流的电流执行写入,并且知道晶体管的饱和电流随着小型化而降低。为了使ST-MRAM小型化,需要自旋转转移效率提高,并且流到存储元件的电流减小。

[0013] 此外,需要确保高的磁阻变化比以放大读出信号。为了将此实现,有效地采用以上所述的MTJ结构,即,以与存储层接触的中间层用作隧道绝缘层(隧道障碍层)的方式构造存储元件。

[0014] 在隧道绝缘层用作互连层的情况下,流到存储元件的电流的量被限制,以防止隧道绝缘层的绝缘击穿发生。即,从确保存储元件的重复写入的可靠性出发,自旋转转矩磁化切换所需的电流必须被限制。

[0015] 用于自旋转转矩磁化切换的电流还称为切换电流、存储器电流等。

[0016] 此外,由于ST-MRAM是非易失性存储器,需要稳定地存储通过电流写入的信息。即,需要确保存储层的磁化中的热波动的稳定性(热稳定性)。

[0017] 在不确保存储层的热稳定性情况下,由于热(操作环境的温度)而可以重写切换的磁化方向,这造成写入误差。

[0018] ST-MRAM中的存储元件的优点是相较于现有技术中的MRAM而比例缩放,即,优点是存储层的体积能较小,这在上面以记录电流值进行了描述。然而,随着体积变小,热稳定性会恶化,只要其他特性相同。

[0019] 随着ST-MRAM的容量增大,存储元件的体积变更小,使得确保热稳定性是重要的。

[0020] 因而,在ST-MRAM的存储元件中,热稳定性是显著重要的特性,并且需要以即使当体积减小时也要确保其热稳定性的方式设计存储元件。

[0021] 换言之,为了提供作为非易失性存储器的ST-MRAM,用于自旋转转矩磁化切换所需的切换电流减小,以不超过晶体管的饱和电流或者,或者击穿隧道障碍。此外,需要确保用于保持写入信息的热稳定性。

[0022] 期望提供一种减小切换电流并确保热稳定性的作为ST-MRAM的存储元件。

[0023] 根据本公开的实施例,提供存储元件,包括:

[0024] 层叠的结构,包括:

[0025] 存储层,其具有与膜表面垂直的磁化,并且磁化方向取决于信息而变化,

[0026] 磁化固定层,其具有与变成存储在所述存储层中的信息的基准的膜表面垂直的磁化,以及

[0027] 中间层,其由非磁性材料形成,并设置在所述存储层和所述磁化固定层之间。通过在层叠结构的层叠方向上施加电流来改变存储层的磁化方向以在存储层中记录信息。此外,存储层包括Co-Fe-B磁性层。第一氧化层形成在与所述存储层接触的所述中间层和所述存储层之间的界面上。第二氧化层至少形成在与所述中间层相反的一侧与所述存储层接触

的不同层和所述存储层之间的界面上。所述不同层的所述第二氧化层是包含Li的Li基氧化层。

[0028] 根据本发明实施例的存储设备包括取决于磁性材料的磁化状态而保持信息的存储元件和彼此相交的两种类型的互连。存储元件是具有如上所述的构造的元件,并设置在两个类型的互连之间。通过两个类型的互连,电流在层叠方向上流到存储元件。

[0029] 根据本公开实施例的存储元件包括取决于磁性材料的磁化状态而保持信息的存储层,以及经由中间层形成在存储层上的磁化固定层。通过利用在层叠方向上流动的电流诱导的自旋转转矩磁化切换来切换存储层的磁化而记录信息。因而,当在层叠方向上施加电流时,能记录信息。由于存储层是垂直磁化膜,能减小切换存储层的磁化方向所需的写入电流值。

[0030] 同时,由于垂直磁化膜的强的磁性各向异性能量,能充分地提供存储层的热稳定性。

[0031] 包括垂直磁化膜的存储层不能同时减小切换电流并确保热稳定性。例如,Nature Materials.,5,210 (2006) 教导当诸如Co/Ni多层膜的垂直磁化膜用于存储层时,能同时提供减小切换电流并确保热稳定性。

[0032] 具有垂直磁性各向异性的磁性材料的示例包括稀土-过渡金属合金(诸如TbCoFe)、金属多层膜(诸如Co/Pd多层膜)、规则合金(诸如FePt)、利用氧化物和磁性金属之间的界面磁性各向异性的那些(诸如Co/MgO)等。

[0033] 考虑使用用于实现高磁阻变化比的隧道结结构以在ST-MRAM中提供高读出信号,并考虑到耐热性和制造容易性,利用界面磁性各向异性的材料,即,作为隧道障碍物的MgO和含有Co或者Fe的磁性材料的层叠体是有前途的。

[0034] 然而,与结晶磁性各向异性、单离子各向异性等相比,由界面磁性各向异性引起的垂直磁性各向异性具有较低的各向异性能量,该能量随着磁性层的厚度变厚而减小。

[0035] 根据本公开的实施例,存储层至少具有Co-Fe-B磁性层,第一氧化层形成在与存储层接触的中间层和存储层之间的界面上,并且第二氧化层形成在与与中间层相反的一侧与存储层接触的不同层和存储层之间的界面上。不同层的第二氧化层是Li基氧化层。因而,能增强存储层的各向异性,并能减小切换电流。

[0036] 此外,根据本公开实施例的存储设备的构造,层叠方向上的电流通过两个类型的互连而流动到存储元件以诱导自旋转转移。因而,当存储元件的层叠方向的电流流经两个类型的互连时,信息能通过自旋转转矩磁化切换而记录。

[0037] 此外,能充分地保持存储层的热稳定性,由此记录在存储元件中的信息能稳定地保持,存储设备能小型化,可靠性能增强,并且功耗能减小。

[0038] 根据本公开的实施例,提供具有高垂直磁性各向异性的存储元件。因而,由于能充分地确保作为信息保持能力的热稳定性,可以构造具有良好平衡特性的存储元件。

[0039] 因而,能消除操作误差,并且能充分地提供存储元件的操作余量。因而,可以实现以高可靠性进行稳定工作的存储器。

[0040] 当写入到存储元件中时,还可以减小写入电流,并减小功耗。

[0041] 结果,可以减小整个存储设备的功耗。

[0042] 本公开的这些和其他目标、特征和优点将从附图中图示的最佳实施方式的详细描

述而变得更加明显。

附图说明

- [0043] 图1是根据本公开的实施例的存储设备的说明图；
[0044] 图2是根据实施例的存储设备的横截面视图；
[0045] 图3A和图3B各是根据本实施例的存储元件的构造的说明图；
[0046] 图4是根据实施例的存储元件的详细说明图；
[0047] 图5是根据实施例的存储元件的另一详细说明图；
[0048] 图6A至图6D各是根据实施例的样品的层叠结构的说明图；
[0049] 图7是各个实验样品的切换电压和热稳定性指数 $KV/K_B T$ 之间的关系的曲线图；以及
[0050] 图8A和图8B各是实施例应用到磁头的说明图。

具体实施方式

- [0051] 将以下列顺序描述本发明的实施例
[0052] 1. 根据实施例的存储设备的构造
[0053] 2. 根据实施例的存储元件的一般描述
[0054] 3. 实施例的具体构造
[0055] 4. 示例
[0056] 5. 替换
- [0057] 1. 根据实施例的存储设备的构造
[0058] 首先, 将描述根据本发明的实施例的存储设备的构造。
[0059] 图1和图2各示出根据实施例的存储设备的示意图。图1是立体视图, 并且图2是横截面视图。
[0060] 如图1所示, 在根据实施例的存储设备中, 包括ST-MRAM的存储元件3设置在彼此垂直的两种地址互连(例如, 字线和位线)的相交附近, ST-RAM能取决于磁化状态而保持信息。
[0061] 换言之, 漏区域8、源区域7和栅极电极1构成用于每个存储设备的旋转的选择晶体管, 并形成在诸如硅衬底的半导体衬底10中, 由元件隔离层2隔离的部分处。在它们当中, 栅极电极1还用作在图1的前后方向上延伸的地址互连(字线)。
[0062] 漏区域8与图1中的左右选择晶体管共同形成, 并且互连9连接到漏区域8。
[0063] 具有通过自旋转转矩磁化切换而切换磁化方向的存储层的存储元件3设置在源区域7和位线6之间, 位线6设置在上侧, 并在图1的左右方向上延伸。存储元件3构造有例如磁性隧道结元件(MTJ元件)。
[0064] 如图2所示, 存储元件2具有两个磁性层15和17。在两个磁性层15和17中, 一个磁性层设定为磁化固定层15, 其中磁化M15的方向固定, 并且另一磁性层设定为其中磁化M17的方向变化的磁化自由层, 即, 存储层17。
[0065] 此外, 存储元件3通过上下层4分别连接到每个位线6和源区域7。
[0066] 以此方式, 当竖直方向的电流通过两个类型的地址互连1和6而施加到存储元件3时, 磁性层17的磁化M17的方向能通过自旋转转矩磁化切换而切换。

[0067] 在这种存储设备中,需要以等于或者小于选择晶体管的饱和电流的电流执行写入,并且知道,晶体管的饱和电流随着小型化而减小。为了使存储设备小型化,期望自旋转转移效率能提高,并且流到存储元件3的电流能减小。

[0068] 此外,需要确保高磁阻变化比以放大读出信号。为了将此实现,有效地采取以上所述的MTJ结构,即,有效地以中间层用作两个磁性层15和17之间的隧道绝缘层(隧道障碍层)的方式构造存储元件3。

[0069] 在隧道绝缘层用作中间层的情况下,流到存储元件3的电流的量被限制以防止发生隧道绝缘层的绝缘击穿。即,从确保存储元件3的重复写入的可靠性的观点出发,期望限制自旋转转矩磁化切换所需的电流。自旋转转矩磁化切换所需的电流还称为切换电流、存储电流等。

[0070] 此外,由于存储设备是非易失性存储设备,需要稳定地存储通过电流写入的信息。即,需要确保存储层的磁化中热波动的稳定性(热稳定性)。

[0071] 在不确定存储层的热稳定性的情况下,切换的磁化方向会由于热(操作环境中的温度)而再切换,这造成写入误差。

[0072] 存储设备中的存储元件3(ST-MRAM)相较于现有技术中的MRAM在比例缩放方面是有利的,即,优点在于存储层的体积能较小。然而,随着体积较小,只要其他特性相同,热稳定性会恶化。

[0073] 随着ST-MRAM的容量增大,存储元件3的体积变小,使得重要的是确保热稳定性。

[0074] 因而,在ST-MRAM的存储元件3中,热稳定性是显著重要的特性,并且需要以即使当体积减小时也要确保其热稳定性的方式设计存储元件。

[0075] 2.根据实施例的存储元件的一般描述

[0076] 然后,将描述根据实施例的存储元件3的一般描述

[0077] 根据实施例的存储元件3通过以上所述的自旋转转矩磁化切换来切换存储层的磁化方向来记录信息。

[0078] 存储层由包括铁磁层的磁性材料组成,并取决于磁性材料的磁化状态(磁性方向)而保持信息。

[0079] 存储元件3例如如图3A所示具有层叠的结构,并包括作为至少两个铁磁层的存储层17和磁化固定层15,以及设置在两个磁性层之间的中间层16。

[0080] 如图3B所示,存储元件3可以包括作为至少两个铁磁层的磁化固定层15U和15L,和设置在三个磁性层之间的中间层16U和16L。

[0081] 存储层17具有与膜面垂直的磁化,其中磁化方向与信心相对应地改变。

[0082] 磁化固定层15具有与变成存储在存储层17中的信息的基准的膜面的垂直的磁化。

[0083] 中间层16由非磁性材料形成,并设置在存储层17和磁化固定层15之间。

[0084] 通过在具有存储层17、中间层16和磁化固定层15的层叠结构的层叠方向上注射自旋转极化离子,存储层17的磁化方向变化,由此信息存储在存储层17中。

[0085] 此处,将简要描述自旋转转矩磁化切换。

[0086] 对于电子,有两种自旋角动量。自旋转的姿势(statues)暂时限定为上和下。上自旋转和下自旋转电子的数量在非磁性材料中相同。但是上自旋转和下自旋转电子的数量在铁磁材料中不同。在ST-MRAM的两个铁磁层(即,磁化固定层15和存储层17)中,将考虑每

个层的磁矩的方向处于相反的方向并且电子从磁化固定层15移动到存储层17的情况。

[0087] 磁化固定层15是具有通过高保磁力而固定的磁矩的方向的固定磁性层。

[0088] 经过磁化固定层15的电子自旋转极化,即,上自旋转和下自旋转电子的数量不同。当使作为非磁性层的中间层16的厚度足够薄时,在自旋转极化通过经过磁化固定层15而缓和并且电子在非极化材料中变成通常的非极化状态(上自旋转和下自旋转电子的数量相同)之前,电子到达其他磁性材料,即,存储层17。

[0089] 存储层17中的自旋转极化的符号相反,使得电子的一部分切换,以降低系统的能量,即,自旋转角动量的方向改变。此时,需要系统的整个角动量,使得保存,使得等于通过电子(其方向发生变化)进行的角动量变化的合计的反作用还施加到存储层17的磁矩。

[0090] 在电流(即,每单位时间经过的电子的数量)较小的情况下,电子(其方向发生变化)的总数变小,使得在存储层17的磁矩中发生的角动量的变化变小,但是当电流增大时,可以在单位时间内施加角动量的大变化。

[0091] 角动量的时间变化是转矩,并且当转矩超过阈值时,存储层17的磁矩开始运动,并由于其单轴各向异性而旋转180度,以变得稳定。即,发生从相反方向到相同方向的切换。

[0092] 当磁化方向处于相同的方向并且使电子从存储层17反向流到磁化固定层15时,电子然后在磁化固定层15处反射。当反射和自旋转切换的电子进入存储层17时,转矩被施加,并且磁矩切换到相反的方向。然而,此时,进行切换所需的电流的量大于从相反方向到相同方向的切换的情况。

[0093] 从相同方向到相反方向的磁矩的切换难以直观地理解,但是可以考虑到磁化固定层15固定,使得不切换磁矩,并切换存储层17以保存整个系统的角动量。因而,通过从磁化固定层15到存储层17或者在其相反的方向上施加与每个极性对应的具有预定阈值以上的电流而执行0/1的记录。

[0094] 通过类似于现有技术中的MRAM使用磁阻效果而执行信息的读取。即,如具有以上所述的记录的情况那样,电流沿着与膜表面垂直的方向施加。然后,利用其中元件所示的电阻取决于对于磁化固定层15的磁矩,存储层17的磁矩是相同还是相反方向而变化的现象。

[0095] 用于磁化固定层15和存储层17之间的中间层16的材料可以是金属材料或者绝缘材料,但是绝缘材料可以用于中间层,以获得相对高读出信号(阻变比),并且以通过相对低的电流实现记录。此时的元件称为铁磁隧道结(磁性隧道结:MTJ)元件。

[0096] 通过自旋转转矩磁化切换而使磁性层的磁化方向反向所需的电流的阈值 I_c 取决于磁性层的磁化的容易轴是在面内方向还是垂直方向而不同。

[0097] 尽管根据实施例的存储元件在现有技术的具有面内磁化的存储元件中具有垂直的磁化,但是用于切换磁性层的磁化方向的切换电流由 I_{c_para} 表示。当方向从相同方向切换到相反的方向时,公式成立,

[0098] $I_{c_para} = (A \cdot \alpha \cdot M_s \cdot V/g(0)/P) (H_k + 2\pi M_s)$

[0099] 当方向从相反方向切换到相同方向时,公式成立,

[0100] $I_{c_para} = -(A \cdot \alpha \cdot M_s \cdot V/g(\pi)/P) (H_k + 2\pi M_s)$

[0101] 相同的方向和相反的方向表示基于磁化固定层的磁化方向的存储层的磁化方向,并且还称为平行方向和非平行方向。

[0102] 另一方面,在根据实施例的具有垂直磁化的存储元件中,切换电流由 I_{c_perp} 表

示。当方向从相同的方向切换到相反的方向时,公式成立,

$$[0103] \quad I_{c_perp} = (A \cdot \alpha \cdot M_s \cdot V / g(0) / P) (H_k - 4\pi M_s)$$

[0104] 当方向从相反方向切换到相同方向时,公式成立,

$$[0105] \quad I_{c_perp} = -(A \cdot \alpha \cdot M_s \cdot V / g(\pi) / P) (H_k - 4\pi M_s)$$

[0106] 其中,A表示常数, α 表示阻尼常数, M_s 表示饱和磁化,V表示元件体积,P表示自旋转极性, $g(0)$ 和 $g(\pi)$ 表示与分别在相同的方向和相反的方向传递到另一磁性层的自旋转转矩的效率对应的系数,并且 H_k 表示磁性各向异性。

[0107] 在各个公式中,当垂直磁化型中的项($H_k - 4\pi M_s$)与面内磁化型中的项($H_k + 2\pi M_s$)相比较,能理解到,垂直磁化型适合于减小记录电流。

[0108] 此处,切换电流 I_{c0} 和热稳定性指数 Δ 之间的关系由以下(公式1)表示。

$$[0109] \quad I_{c0} = \left(\frac{4ek_B T}{\hbar} \right) \left(\frac{\alpha \Delta}{\eta} \right)$$

[0110] 其中,e表示电子电荷, η 表示自旋转注射系数,具有横杠的 h 表示降低的普朗克常数, α 表示阻尼常数, K_B 表示玻尔兹曼常数,并且 T 表示温度。

[0111] 根据本实施例,存储元件包括能够取决于磁化状态而保持信息的磁性层(存储层17)和固定磁化方向的磁化固定层15。

[0112] 存储器必须保持写入信息以用作存储器。保持信息的能力指数是热稳定性指数 Δ ($=KV/K_B T$)。 Δ 由公式2表示。

$$[0113] \quad \Delta = \frac{KV}{k_B T} = \frac{M_s V H_K}{2k_B T}$$

[0114] 其中, H_k 表示有效的各向异性磁场, K_B 表示玻尔兹曼常数, T 表示温度, M_s 表示饱和的磁化量,V表示存储层的体积,并且 K 表示各向异性能量。

[0115] 有效的各向异性磁场 H_k 受到形状磁性各向异性、诱导的磁性各向异性、晶体磁场各向异性等的影响。假定单域固有旋转模型, H_k 将等于保磁力。

[0116] 热稳定性指数 Δ 和电流的阈值 I_c 通常具有折衷关系。因而,为了维持存储器特性,折衷关系经常变成问题。

[0117] 在实践中,在例如具有厚度为2nm的存储层17和直径为100nm的平面图案的圆形TMR元件中,改变存储层的磁化状态的电流的阈值约为百至几百 μA 。

[0118] 相反,在用于使用电流磁场切换磁化的现有技术的MRAM中,写入电流超过几个mA。

[0119] 因而,在ST-MRAM中,如上所述,写入电流的阈值变得足够低。减小集成电路的功耗是有效的。

[0120] 此外,由于用于产生通常用在现有技术中的MRAM中的电流磁场的互连不是必需的,ST-MRAM在集成方面优于现有技术中的MRAM。

[0121] 当诱导自旋转转矩磁化切换时,将电流直接施加到存储元件,以写入(记录)信息。为了选择进行写入的存储单元,存储元件连接到选择晶体管以构造存储单元。

[0122] 在此情况下,流到存储元件的电流被能流到选择晶体管的电流量,即被选择晶体管的饱和电流限制。

[0123] 为了减小记录电流,如上所述期望使用垂直磁化型。此外,垂直磁化通常能提供比面内磁化更高的磁性各向异性,并因而更加期望,因为 Δ 保持更大。

[0124] 具有垂直各向异性的磁性材料的示例包括稀土-过渡金属合金 (诸如TbCoFe)、金属多层膜 (诸如Co/Pd多层膜)、规则合金 (诸如FePt)、那些利用氧化物和磁性金属之间的界面磁性各向异性 (诸如Co/MgO) 等。当稀土-过渡金属合金扩散并通过加热而结晶时,垂直磁性各向异性丢失,并且因而,稀土-过渡金属合金不期望作为ST-MRAM材料。

[0125] 还知道,金属多层膜在被加热时也扩散,并且垂直磁性各向异性降低。由于垂直磁性各向异性在金属多层膜具有面心立方 (111) 取向时发现,难以实现包括MgO和与MgO相邻设置的Fe、CoFe和CoFeB的高极化性层所需的 (001) 取向。L10规则合金即使在高温下也是稳定的,并在 (001) 取向上示出垂直磁性各向异性。因而,不会诱导以上所述的问题。然而,L10顺序合金必须在生产过程中在500℃以上的足够高的温度下加热,或者原子必须在生产之后通过在500℃以上的高温下加热而规则排列。这会在诸如隧道障碍的层叠膜的其他部分中诱导不期望的扩散或者界面粗糙度的增大。

[0126] 相反,利用界面磁性各向异性的材料 (即,包括作为隧道障碍的MgO和层叠在其上的Co或者Fe材料) 几乎不诱导上述任何问题,并因而高度地期望为ST-RAM的存储层。

[0127] 尽管可以说由界面磁性各向异性引起的垂直磁化各向异性通过将含在氧化物中的氧和Co或者Fe在界面处混合而诱导,存在这样的问题,与规则合金所示的结晶磁性各向异性、稀土所示的单离子各向异性等相比较,各向异性的能量自身较小,并且随着磁性层变厚而降低。

[0128] 为了解决此问题,本发明者已经发现氧设置在磁性金属的两侧,氧化物和磁性金属之间的界面的数量增大,并且具体地,在与中间层16相反的一侧与存储层17接触的氧化物是含Li的氧化物,由此进一步提高了记录层17的垂直磁性各向异性。

[0129] 换言之,例如,通过采用包括衬底/下覆层14/磁化固定层15/中间层16 (由氧化物形成的隧道障碍层)/存储层17/由含有Li的氧化物形成并设置在存储层的界面处的帽层的结构,能增强存储层17的各向异性。

[0130] 换言之,通过采用包括其中氧化物层、Co-Fe-B磁性层和非磁性层 (非磁性添加剂材料) 层叠的层结构,能提高存储层17的各向异性。

[0131] 根据实施例,存储层17是以Co-Fe-B为基础并添加Ta的垂直磁性膜。

[0132] 鉴于选择晶体管的饱和电流值,作为存储层17和磁化固定层15之间的非磁性中间层16,磁性隧道结 (MTJ) 元件使用包括绝缘材料的隧道绝缘层而构造。

[0133] 磁性隧道结 (MTJ) 元件通过使用隧道绝缘层而构造,使得磁阻变化比 (MR比) 高于通过使用非磁性导电层而构造巨大磁阻效果 (GMR),因而,可以增大读出信号强度。

[0134] 具体地,当氧化镁 (MgO) 用作作为隧道层的中间层16的材料时,可以使磁阻变化比 (MR比) 较高。

[0135] 此外,一般地,自旋转转移效率取决于MR比,并且由于MR比较高,自旋转转移效率得到提高,并因而,可以减小磁化切换电流密度。

[0136] 因而,当氧化镁用作隧道绝缘层的材料并且一起使用以上所述的存储层17时,可以通过自旋转转矩磁化切换来减小写入阈值,因而,可以以小电流执行信息的写入 (记录)。此外,可以增大读出信号强度。

[0137] 以此方式,可以通过确保MR比 (TMR比) 进行自旋转转矩磁化切换来减小写入阈值电流,并且可以以小电流执行信息的写入 (记录)。此外,可以增大读出信号强度。

[0138] 如上所述,在隧道绝缘层由氧化镁(MgO)膜形成的情况下,期望MgO结晶,并且结晶取向维持在(001)方向。

[0139] 在此实施例中,除了由氧化镁形成的构造之外,设置在存储层17和磁化固定层15之间的中间层16(隧道绝缘层)可以例如通过使用诸如氧化铝、氮化铝、 SiO_2 、 Bi_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 、 SrTiO_2 、 AlLaO_3 和 Al-N-O 的各种绝缘材料、介电材料和半导体而构造。

[0140] 从获得通过自旋转转矩磁化切换来切换存储层17的磁化方向所需的电流密度观点来看,隧道绝缘层的面积电阻值必须控制到几十 Ωum^2 以下。

[0141] 在包括MgO膜的隧道绝缘层中,MgO膜的膜厚度必须设定为1.5nm以下,使得面积电阻值在以上所述的范围内。

[0142] 与存储层17相邻地设置具有氧化层的帽层18。作为帽层18的氧化物,例如使用MgO、氧化铝、 TiO_2 、 SiO_2 、 Bi_2O_3 、 SrTiO_2 、 AlLaO_3 和 Al-N-O 。如上所述,帽层和存储层17之间的界面是至少含有Li的氧化层。

[0143] 此外,期望使存储元件3的尺寸较小以容易地以小电流切换存储层17的磁化方向。

[0144] 因而,期望存储元件3的面积设定为 0.01um^2 以下。

[0145] 此外,除了Ta之外,W、Mo、V、Nb、Cr、Ti、Zr和Hf可以添加到存储层17中。此外,其他元素能添加到里面。

[0146] 当添加异种元素时,由于防止扩散而获得诸如耐热性的改进或者磁阻效果的增大,伴随着极化而介电强度电压的增大的效果。作为这种添加的元素的材料,可以使用B、C、N、O、F、Mg、Si、P、Mn、Ni、Cu、Ge、Nb、Ru、Rh、Pd、Ag、Ir、Pt、Au、Re、Os或合金及其氧化物。

[0147] 此外,作为存储层17,可以直接层叠具有不同成分的铁磁层。此外,可以层叠铁磁层和软磁层,或者通过软磁层或者非磁性层可以层叠多个铁磁层。在以此方式层叠的情况下,可以获得根据实施例的效果。

[0148] 具体地,在多个铁磁层通过非磁性层层叠的情况下,可以调节铁磁层之间的相互作用的强度,因而,获得能控制磁化切换电流不增大的效果。作为在此情况下非磁性层的材料,可以使用Ru、Os、Re、Ir、Au、Ag、Cu、Al、Bi、Si、B、C、Cr、Ta、Pd、Pt、Zr、Hf、W、Mo、Nb或者其合金。

[0149] 期望磁化固定层5和存储层17中的每个的膜厚度可以是0.5nm至30nm。

[0150] 存储元件的其他构造可以与现有技术中通过自旋转转矩磁化切换记录信息的存储元件的构造相同。

[0151] 磁化固定层15可以以磁化方向仅仅通过铁磁层固定或者通过使用抗铁磁层和铁磁层的抗铁磁耦合而固定的方式构造。

[0152] 此外,磁化固定层15可以通过单层的铁磁层而构造,或者可以具有其中多个铁磁层通过非磁性层层叠的铁压结构。

[0153] 作为构成具有层叠铁压结构的磁化固定层的材料,可以使用Co、CoFe、CoFeB等。此外,作为非磁性层的材料,可以使用Ru、Re、Ir、Os等。

[0154] 作为抗铁磁层的材料,可以举例诸如FeMn合金、PtMn合金、PtCrMn合金、NiMn合金、IrMn合金、NiO和 Fe_2O_3 的磁性材料。

[0155] 此外,通过添加诸如Ag、Cu、Au、Al、Si、Bi、Ta、B、C、O、N、Pd、Pt、Zr、Hf、Ir、W、Mo和Nb的非磁性元素到以上所述磁性材料中来调节磁性特性,或者可以调节诸如结晶特性和物质

稳定性的各种物理特性。

[0156] 此外,对于存储元件的膜构造,如果存储层17可以设置在磁化固定层15的下侧则没有问题。换言之,存储层17和磁化固定层15的位置与图3A不同地切换。

[0157] 在此情况下,至少不是帽层18而是下覆层15的与存储层17接触的界面可以是含Li的氧化层。

[0158] 3.实施例的具体构造

[0159] 随后,将描述此实施例的具体构造。

[0160] 如图1和图2所示,存储设备包括设置在彼此垂直的两种地址互连1和6(例如,字线和位线)的互连的附近并取决于磁化状态而保持信息的存储元件3。

[0161] 当竖直方向的电流通过两种类型的地址互连1和6施加到存储元件3时,存储层17的磁化方向能通过自旋转转矩磁化切换而切换。

[0162] 图3A和图3B各示出根据本实施例的存储元件3(ST-MRAM)的层叠结构的示例。

[0163] 在具有图3A所示的结构存储元件3中,下覆层14、磁化固定层15、中间层16、存储层17和帽层18从底部以所述的状态层叠。

[0164] 在此情况下,磁化固定层15设置在其中磁化M17的方向通过自旋转注射而切换的存储层17下方。

[0165] 关于自旋转注射存储,信息的“0”和“1”由存储层17的磁化M17和磁化固定层15的磁化M15之间的相对角度限定。

[0166] 用作隧道障碍层(隧道绝缘层)的中间层16设置在存储层17和磁化固定层15之间,并且MTJ元件通过存储层17和磁化固定层15构造。

[0167] 存储层17由具有磁化M17的方向在与膜表面垂直的方向上自由变化的磁矩的铁磁材料组成。磁化固定层15中具有其中磁化M15的方向在与膜表面垂直的方向上自由变化的磁矩的铁磁材料组成。

[0168] 信息通过具有单轴各向异性的存储层17的磁化方向而存储。写入通过在与膜表面垂直的方向上施加电流,并诱导自旋转转矩磁化切换而进行。因而,磁化固定层15设置在其中磁化方向通过自旋转注射而切换的存储层17的下方,并用作存储层17的存储信息(磁化方向)的基准。

[0169] 在实施例中,Co-Fe-B用于存储层17和磁化固定层15。如后所述,除了Co-Fe-B磁性层之外,存储层17还包括非磁性层。非磁性层例如由Ta形成。非磁性层可以由包括V、Nb、Cr、W、Mo、Ti、Zr和Hf的金属元素中的至少一者形成。

[0170] 由于磁化固定层15是信息的基准,磁化方向必须通过记录或者读出而变化。然而,磁化固定层15不必固定到特定的方向,仅仅需要通过增大保磁力、膜厚度或者磁性阻尼常数而比存储层17更加困难地移动。

[0171] 中间层16例如由氧化镁(MgO)层形成。在此情况下,可以使磁阻变化比(MR比)较高。

[0172] 当因而使MR比较高时,提高了自旋转注射效率,因而,可以减小切换存储层17的磁化M17的方向所需的电流密度。

[0173] 中间层17可以通过例如使用诸如氧化铝、氮化铝、SiO₂、Bi₂O₃、MgF₂、CaF₂、SrTiO₂、AlLaO₃和Al-N-O以及氧化镁的各种绝缘材料、介电材料和半导体来构造。

[0174] 作为下覆层14和帽层18,能使用诸如Ta、Ti、W和Ru的各种金属和诸如TiN的导电氮化物。在下覆层14和帽层18中,单层可以使用或者包括不同材料的多个层可以层叠。

[0175] 根据本实施例,帽层18是在与中间层16相反一侧与存储层17接触的不同层。至少设置在帽层18和存储层17之间的界面上的层是Li基氧化层。

[0176] Li基氧化物的示例包括LiAlO₂、LiCuO₂、LiSiO₂、LiPO₃、LiBO₂、Li₂CO₃、LiO₂、Li-Mg-O等。

[0177] 接着,图3B示出根据实施例的双层叠结构。

[0178] 在存储元件3中,下覆层14、下磁化固定层15L、下中间层16L、存储层17、上中间层16U、上磁化固定层15U和帽层18从底部以所述的顺序层叠。

[0179] 换言之,存储层17经由中间层16U和16L夹在磁化固定层15U和15L之间。

[0180] 在这种双结构中,磁化固定层15U和15L的磁化方向不必改变(上磁化固定层15U的磁化M15U和下磁化固定层15L的磁化M15L反向)。

[0181] 根据实施例,上中间层16U是在与下中间层16L的相反侧与存储层17接触的层。至少设置在上中间层16U和存储层17之间的层是Li基氧化层。例如,上中间层16U由Li基氧化层形成。

[0182] 根据图3A和图3B中所示的以上所述的实施例,存储元件3的存储层17以存储层17接收的有效反磁场的幅度小于存储层17的饱和磁化量M_s的方式构造。

[0183] 换言之,存储层17接收的有效反磁场通过选择存储层17的铁磁材料Co-Fe-B成分而降低小于存储层17的饱和磁化量M_s。

[0184] 实施例的存储元件3能通过如下进行构造:在真空设备中从下覆层14到帽层18连续地形成,然后通过诸如随后的蚀刻的处理形成存储元件3的图案。

[0185] 在图3A和图3B所示的存储元件3中,存储层17包括Co-Fe-B磁性层和诸如Ta等的至少一个非磁性层。形成氧化层、Co-Fe-B磁性层和非磁性层层叠在上面的层叠结构。

[0186] 图4和图5各详细地示出了层叠的结构。

[0187] 图4详细地示出了图3A所示的层叠结构。

[0188] 如上所述,除了Co-Fe-B磁性层之外,存储层17还包括诸如Ta的非磁性层。换言之,存储层17由层叠的Co-Fe-B磁性层17a、非磁性层17b和Co-Fe-B磁性层17c组成。

[0189] 非磁性层17b可以由包括V、Nb、Cr、W、Mo、Ti、Zr和Hf的金属元素形成。多个金属元素可以层叠。

[0190] Li基氧化层形成在至少帽层18的与存储层17接触的界面上。

[0191] 中间层16如上所述是MgO层,并且与存储层17接触的界面是氧化层。

[0192] 换言之,中间层16的氧化层(MgO)、存储层17的Co-Fe-B磁性层17a和存储层17的非磁性层17b形成氧化层/Co-Fe-B磁性层/非磁性层的层叠结构U1。

[0193] 由于帽层18的在与中间层16的相反侧与存储层17接触的界面是Li基氧化层18a,帽层18的Li基氧化层18a、存储层17的Co-Fe-B磁性层17c和存储层17的非磁性层17b形成氧化层/Co-Fe-B磁性层/非磁性层的层叠结构U2。

[0194] 通过从底部设置氧化层/磁性材料/非磁性材料的层叠结构U1和氧化层/磁性材料/非磁性材料的层叠结构U2,能提高热稳定性。

[0195] 图5详细示出了图3B所示的层叠结构。

[0196] 同样在此情况下,除了Co-Fe-B磁性层之外,存储层17包括非磁性层。换言之,如图5所示,存储层17由层叠的Co-Fe-B磁性层17a、非磁性层17b和Co-Fe-B磁性层17c组成。非磁性层17b可以由包括Ta、V、Nb、Cr、W、Mo、Ti、Zr和Hf的金属元素中的至少一者形成。多个金属元素可以层叠。

[0197] 上中间层16U是Li基氧化层,并且与存储层17接触的界面是Li基氧化层。

[0198] 下中间层16L是MgO层,并且与存储层17接触的界面是氧化层。

[0199] 换言之,下中间层16L的氧化层(MgO)、存储层17的Co-Fe-B磁性层和存储层17的非磁性层17b形成氧化层/Co-Fe-B磁性层/非磁性层的层叠结构。

[0200] 由于在下中间层16L的相反侧与存储层17接触的上中间层16U是Li基氧化层,上中间层16U的氧化层(Li基氧化物)、存储层17的Co-Fe-B磁性层17c和存储层17的非磁性层17b形成氧化层/Co-Fe-B磁性层/非磁性层的层叠结构U2。

[0201] 同样在此情况下,通过设置通过从底部设置氧化层/磁性材料/非磁性材料的层叠结构U1和氧化层/磁性材料/非磁性材料的层叠结构U2,能提高热稳定性。

[0202] 根据以上所述实施例,由于存储元件3的存储层17是垂直磁化膜,能减小用于切换存储层17的磁化M17的方向所需的写入电流。

[0203] 为了增强垂直磁性各向异性,期望氧化物设置在存储层17的两侧。具体地,Li基氧化物用在存储层17的界面处,并且以上所述层叠结构U1和U2形成,由此提高热稳定性,并同时减小写入电流。

[0204] 因而,由于能充分地确保作为信息保持能力的热稳定性,可以构造具有良好平衡特性的存储元件。

[0205] 以此方式,能消除操作误差,并且充分地获得存储元件3的操作余量,使得可以稳定地操作存储元件3。

[0206] 因而,可以实现以高可靠性而稳定操作的存储器。

[0207] 还可以减小写入电流,并减小写入存储元件3中时的功耗。

[0208] 结果,可以减小其中存储单元由此实施例的存储元件3构造的整个存储设备的功耗。

[0209] 因而,关于包括存储元件3的存储器,可以减小功耗,该存储元件3能实现在信息保持能力方面优异并以高可靠性而稳定操作的存储器。

[0210] 此外,包括图3至图5所示的存储元件3并具有图1所示的构造的存储设备具有以下优点:当制造存储设备时可以应用形成处理的一般半导体MOS。因而,可以应用此实施例的存储器作为通用存储器。

[0211] 4. 实验

[0212] 此处,图3A和图4所示的根据此实施例的存储元件3的构造,制造样品,然后检查其特性。

[0213] 在实际存储设备中,如图1所示,除了存储元件3之外,还存在用于切换的半导体电路等,但是此处,为了调查与帽层18相邻的存储层17的磁化切换特性,对其中仅仅形成存储元件的晶片进行检查。

[0214] 具有300nm厚度的热氧化膜形成在具有0.725mm厚度的硅衬底上,并且具有图3A所示的构造的存储元件3形成在热氧化膜上。

- [0215] 图6A示出比较样品9,并且图6B示出了根据实施例的样品1至8中的每个。
- [0216] 在包括比较实施例的样品1至9中,以下结构是共用。
- [0217] 下覆层14:具有10nm厚度的Ta膜和具有25nm的膜厚度的Ru膜的层叠膜
- [0218] 磁化固定层15:层叠膜:CoPt:2nm/Ru:0.8nm/CoFeB:2nm
- [0219] 中间层(隧道绝缘层)16:具有0.9nm厚度的氧化镁膜
- [0220] 存储层17:如图6D中放大所示,CoFeB/非磁性层/CoFeB的层叠的膜,其具有2.0nm的总厚度。
- [0221] 帽层18如下:
- [0222] 如图16A所示,比较示例9的帽层18具有MgO:0.8nm/Ta:3nm/Ru:3nm/Ta:3nm的层叠结构。即,在比较实施例中,在帽层18和存储层17之间的界面处不使用Li基氧化物。
- [0223] 另一方面,在实施例样品1至8中,如图6所示,帽层18具有Li基氧化物:0.8nm/Ta:3nm/Ru:3nm/Ta:3nm的层叠结构。
- [0224] 作为Li基氧化物,图6C所示的氧化物用作样品1至9。
- [0225] 样品1是LiAlO₂,样品2是LiCuO₂,样品3是LiSiO₂,样品4是LiPO₃,样品5是LiBO₂,样品6是Li₂CO₃,样品7是LiO₂,并且样品8是Li-Mg-O。
- [0226] 在每个样品中,磁化固定层15和存储层17中的每个中的Co-Fe-B合金的成分是(Co30%-Fe70%)80%-B20%(均为原子%)。
- [0227] 使用RF磁控溅射方法形成中间层16的氧化镁(MgO)膜和帽层18的LiAlO₂、LiCuO₂、LiSiO₂、LiPO₃、LiBO₂、Li₂CO₃和LiO₂。使用DC磁控溅射方法形成其他层。通过形成LiMg合金并将其氧化而生产Li-Mg-O。
- [0228] 此外,在形成每层存储元件3之后,在磁场热处理炉中执行加热处理。存储层17通过普通的电子束光刻和离子减薄处理而成立。
- [0229] 针对自旋转注射磁化切换如下所述评估如上所述制造的存储元件3的每个样品。
- [0230] 在测量之前,构造成能从外部对存储元件3施加磁场,以正方向的值和负方向的值彼此对称的方式控制切换电流。
- [0231] 此外,施加到存储元件3的电压设定为高达在不击穿中间层16的范围内的1V。
- [0232] 切换电流值和热稳定性的测量
- [0233] 为了评估根据此实施例的存储元件3的写入特性和热稳定性的目的,测量切换电流值的脉冲宽度(10us至100ms的脉冲宽度)依赖性。
- [0234] 通过将此电流值的脉冲宽度依赖性插值到脉冲宽度1ns而获得的值设定为切换电流值。
- [0235] 此外,切换电流的脉冲宽度依赖性的倾斜度对应于以上所述的存储元件3的热稳定性指数 $\Delta = (KV/K_B T)$ 。切换电流值通过脉冲宽度改变越小(倾斜度越小),存储元件3越强地抵抗热的干扰。
- [0236] 然后,制造约二十个具有相同构造的存储元件3,以将存储元件3的变化考虑在内,执行以上所述测量,并且确定切换电流值和热稳定性指数(KV/K_BT)的平均值。
- [0237] 此外,从通过测量获得的切换电压的平均值和存储元件3的平面图案的面积计算切换电压V_{c0}。用于测量的样品元件的方块电阻之间的差异在±3%内。
- [0238] 图7示出了在包括帽层18中的不同氧化物(Li基氧化物)的样品1至9中的每个中切

换电压和热稳定性指数 $KV/K_B T$ 之间的关系。

[0239] 在比较示例9中, $KV/K_B T$ 和切换电压 V_{c0} 之间的关系是 $(KV/K_B T, V_{c0}) = (67, 0.52)$ 。相反,在样品1至8中的每个中, $KV/K_B T$ 变高,并且 V_{c0} 变低。

[0240] 样品1具有与比较样品9几乎类似的 V_{c0} 。一般地,当 $KV/K_B T$ 增大时,切换电压 V_{c0} 也增大。然而,在样品1中,尽管 $KV/K_B T$ 增大,切换电压 V_{c0} 不改变。这意味着与比较示例9相比,样品1获得热稳定性的提高,同时获得切换电流的减小。

[0241] 与比较示例9相比,其他样品2至8明确地实现了热稳定性的提高和写入电流的减小。

[0242] 为了垂直地磁化记录层中的Co-Fe-B基磁性材料,Co和Fe的3d电子和氧的2p电子的轨道混合是重要的。Li是具有低至1.0的电负性的材料,并且捕获氧化物中的氧的电子的力因而较弱。结果,氧的电子和Co和Fe的电子的更强的轨道混合在Li基氧化物和Co-Fe-B基磁性材料之间的界面处产生。当使用Li基氧化物时,认为获得高 $KV/K_B T$ 。

[0243] 此外,Li是轻元素,并且因而具有与较低的与磁性材料的自旋转轨道耦合。它可以降低存储层17的有效阻尼常数,造成较低的 V_{c0} 特性。

[0244] 在此实验中,即使在不在帽层18中使用Li的比较示例中也提供一种相对较高的 $KV/K_B T$ (67以上)。

[0245] 包括比较实施例的所有样品1至9如上所述具有层叠的结构U1和U2。

[0246] 可以说,通过将含在氧化物中的氧与Co或Fe在界面处结合而提供由界面磁性各向异性引起的垂直磁化各向异性。同时,在与氧化物相反的界面处接触的非磁性材料起着非常重要的作用。

[0247] 简言之,作为最基本的单元,氧化物/磁性材料/非磁性材料和非磁性材料/磁性材料/氧化物的组合是重要的。

[0248] 在样品1至9中,通过将两个重要的基本单元(以上所述的层叠结构U1和U2)结合到存储层17中,可以成功地提供更大的 $KV/K_B T$ 。

[0249] 总之,氧化物/磁性材料/非磁性材料和非磁性材料/磁性材料/氧化物的组合有效地提高热稳定性,并以低压诱导磁化切换。这意味着热稳定性指数 Δ 和磁化切换的阈值之间的折衷关系得到提高。热稳定性得到提高,并且同时获得较低的功耗。

[0250] 能推断出Li基氧化物的使用能实现热稳定性的附加的提高和写入电流的降低。

[0251] 5. 替换示例

[0252] 尽管已经描述了根据本发明的实施例,但是应该理解到,本发明不限于在以上所述实施例中所示的存储元件3的层叠结构,而是可以采纳各种层叠结构。

[0253] 例如,尽管磁化固定层15和存储层17中的Co-Fe-B的成分在实施例中相同,但是应该理解到,本公开不限于此,可以在不脱离本公开的范围和精神的前提下采用各种结构。

[0254] 尽管图4和图5示出具有两个层叠结构U1和U2的层叠结构,但是具有层叠结构U1和U2中的至少一者的层叠结构能提高热稳定性。

[0255] 尽管实施例的存储层17是添加Ta的Co-Fe-B,可以单个地添加或者代替Ta一起掺杂W、Mo、V、Nb、Cr、Ti、Zr和Hf。此外,可以添加其他金属元素或者氧化物,除非失去垂直磁化各向异性。其他元素的示例包括Hf、Nb、Zr、Cr、Ti、V、Mo和W。氧化物的示例包括MgO、Al₂O₃、SiO₂和Li基氧化物。

[0256] 此外,下覆层14和帽层18可以具有单个材料或者多个材料形成的层叠结构。

[0257] 磁化固定层15可以由单层或者包括两个铁磁层和非磁性层的层叠铁压结构形成。此外,抗铁磁性膜可以施加到层叠的铁压结构膜。

[0258] 根据本公开实施例的存储元件3具有诸如穿隧式磁阻 (TMR) 元件的磁阻效果元件的构造。磁阻效果元件作为TMR元件能施加到包括磁头、配备有磁头的硬盘驱动器、集成电路芯片、个人计算机、便携式终端、移动电话机、磁性传感器设备以及以上所述存储设备的各种电子设备、电子器具等。

[0259] 作为示例,图8A和图8B各示出具有存储元件3的构造的磁阻效果元件101到复合磁头100的应用。图8A是为了区分内部构造而切割一部分复合磁头100而示出的立体视图。图8B是复合磁头100的横截面视图。

[0260] 复合磁头100是用于硬盘设备等的磁头。在衬底122上,形成根据本公开的实施例的磁阻效果磁头。在磁阻效果磁头上,感应磁头层叠,因而,形成复合磁头100。磁阻效果磁头用作再现头,并且感应磁头用作记录头。换言之,复合磁头100通过组合再现头和记录头而构造。

[0261] 安装在复合磁头100上的磁阻效果磁头是所谓的屏蔽MR头,并包括经由绝缘层123形成在衬底122上的第一磁性屏蔽层125,经由绝缘层123形成在第一磁场25上的磁阻效果元件101和经由绝缘层123而形成在磁阻效果元件101上的第二磁性屏蔽层127。绝缘层127包括诸如 Al_2O_3 和 SiO_2 的绝缘材料。

[0262] 第一磁性屏蔽层125用于磁性地屏蔽磁阻效果元件101的下侧,并包括诸如Ni-Fe的软磁性材料。在第一磁性屏蔽层125上,经由绝缘层123形成磁阻效果元件101。

[0263] 磁阻效果元件101用作用于检测来自磁阻效果磁头中的磁性记录媒体的磁性信号的磁感应元件。磁阻效果元件101可以具有与以上所述存储元件3类似的膜构造。

[0264] 磁阻效果元件101形成为几乎矩形形状,并具有露出到磁性记录媒体的相对表面的一侧。在磁阻效果元件101的两端处,设置偏置层128和129。此外,形成连接到偏置层128和129的连接端子130和131。传感电流通过连接端子130和131供应到磁阻效果元件101。

[0265] 在偏置层128和129上,经由绝缘层123设置第二磁性屏蔽层127。

[0266] 层叠和形成在以上所述的磁阻效果磁头上的感应磁头包括具有第二磁性屏蔽层127和上芯132的磁芯,和绕磁芯缠绕的薄膜线圈133。

[0267] 上芯132与第二磁性屏蔽层127一起形成封闭的磁性路径,并成为感应磁头的磁芯,并包括诸如Ni-Fe的软磁性材料。第二磁性屏蔽层127和上芯132形成为使得第二磁性屏蔽层127和上芯132的前端部露出到磁性记录媒体的相对表面,并且第二磁性屏蔽层127和上芯132在其后端部彼此接触。第二磁性屏蔽层127和上芯132的前端部形成在磁性记录媒体的相对表面处,使得第二磁性屏蔽层127和上芯132间隔预定的间隙g。

[0268] 换言之,在复合磁头100中,第二磁性屏蔽层127不仅磁性地屏蔽磁阻效果元件101的上侧,而且还用作感应磁头的磁芯。第二磁性屏蔽层127和上芯132构造感应磁头的磁芯。间隙g是感应磁头的记录磁性间隙。

[0269] 此外,在第二磁性屏蔽层127上,形成埋入绝缘层123中的薄膜线圈133。薄膜线圈133形成为绕包括第二磁性屏蔽层127和上芯132的磁芯缠绕。薄膜线圈133的两端(未示出)露出到外部,并且形成在薄膜线圈133的两端上的端子是感应磁头的外部连接端子。换言之

之,当磁性信号记录在磁性记录媒体上时,记录电流将从外部连接端子供应到薄膜线圈133。

[0270] 以上所述的复合磁头121配备有磁阻效果磁头作为再现头。磁阻效果磁头配备有作为检测来自磁性记录媒体的磁性信号的磁性传感元件的根据本公开的技术应用到的磁阻效果元件101。由于根据本公开的技术应用到的磁阻效果元件101如上所述示出优异的性能,磁阻效果磁头能进一步实现磁性记录的高记录密度。

[0271] 本公开还可以具有以下构造。

[0272] (1) 一种存储元件,包括:

[0273] 层叠结构,包括:

[0274] 存储层,其具有与膜表面垂直的磁化,并且磁化方向取决于信息而变化,并包括Co-Fe-B磁性层,通过在所述层叠结构的层叠方向施加电流而改变所述磁化方向以在所述存储层中记录所述信息,

[0275] 磁化固定层,其具有与成为存储在所述存储层中的信息的基准的膜表面垂直的磁化,以及

[0276] 中间层,其由非磁性材料形成,并设置在所述存储层和所述磁化固定层之间;

[0277] 第一氧化层,其至少形成在与所述存储层接触的所述中间层和所述存储层之间的界面上;以及

[0278] 第二氧化层,其至少形成在位于所述中间层相反的一侧与所述存储层接触的不同层和所述存储层之间的界面上,所述不同层的所述第二氧化层是包含Li的Li基氧化层。

[0279] (2) 根据以上(1)所述的存储元件,其中

[0280] 所述Li基氧化层包括由Al、Si、Cu、Mg、P、B和C中的至少一者和Li构成的氧化物。

[0281] (3) 根据以上(1)所述的存储元件,其中

[0282] 所述Li基氧化层包括由Li和氧构成的氧化物。

[0283] (4) 根据以上(1)至(3)中任一项所述的存储元件,其中

[0284] 至少所述中间层的与所述存储层接触的界面包括MgO膜。

[0285] (5) 根据以上(1)至(4)中任一项所述的存储元件,其中

[0286] 所述存储层包括所述Co-Fe-B磁性层和至少一个非磁性层,并且

[0287] 还包括:层叠形成氧化层、所述Co-Fe-B磁性层和所述非磁性层的层叠结构。

[0288] (6) 根据以上(5)所述的存储元件,其中

[0289] 所述层叠结构由所述中间层的所述氧化层、所述存储层的所述Co-Fe-B磁性层和所述存储层的所述非磁性层形成。

[0290] (7) 根据以上(5)或(6)所述的存储元件,其中

[0291] 所述层叠结构由所述不同层的所述Li基氧化层、所述存储层的所述Co-Fe-B磁性层和所述存储层的所述非磁性层形成。

[0292] 本公开包含与2011年12月1日向日本专利局提交的日本优先权专利申请JP2011-263288中公开的主题有关的主题,该申请的全部内容通过引用而包含于此。

[0293] 本领域的技术人员应该理解到,取决于设计要求和因素,可以进行各种修改、组合、子组合和替换,只要它们在权利要求或者等同的范围内即可。

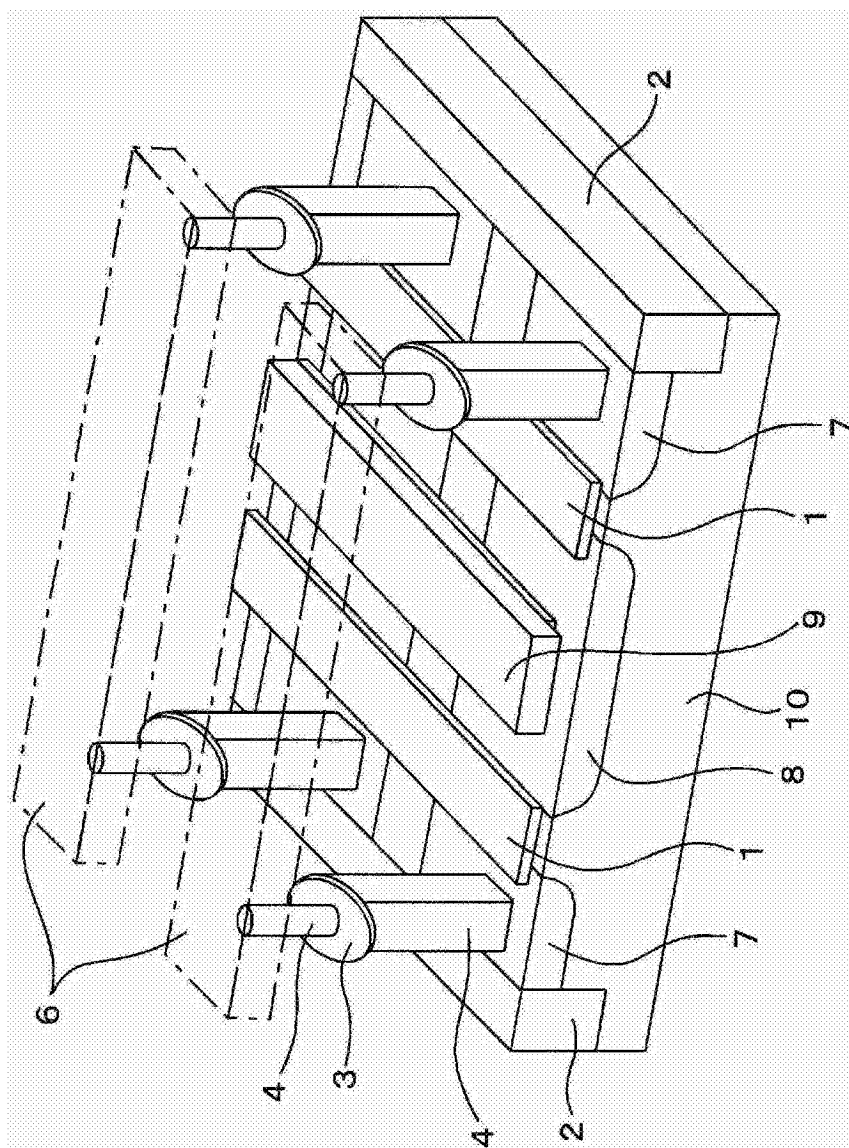


图 1

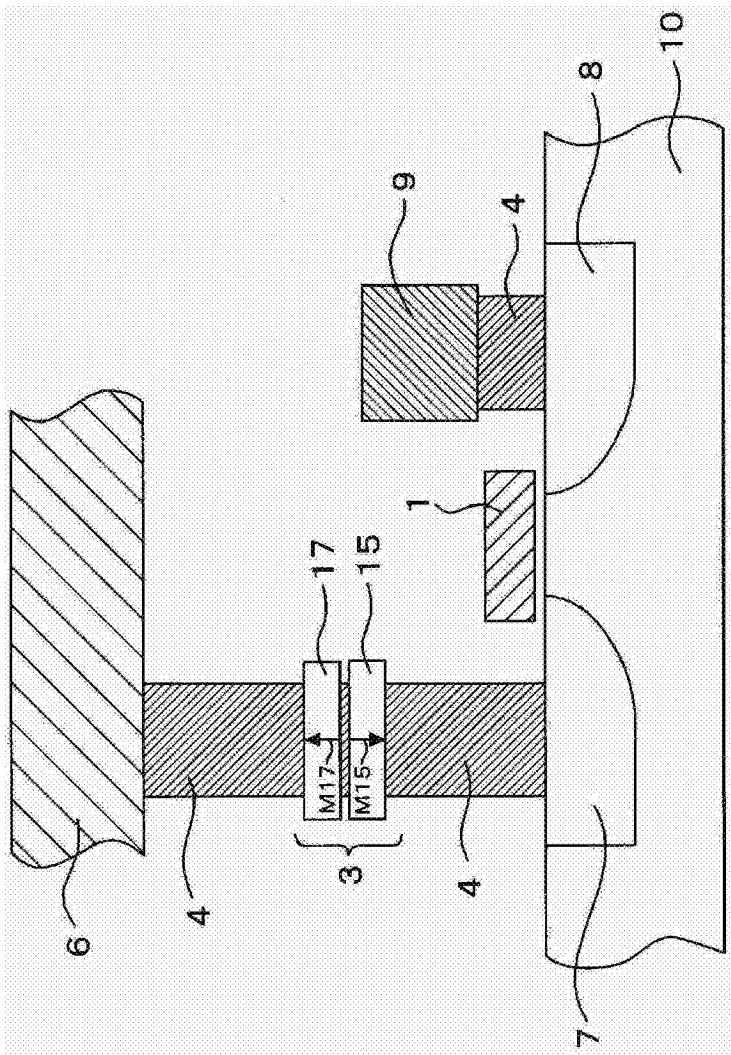
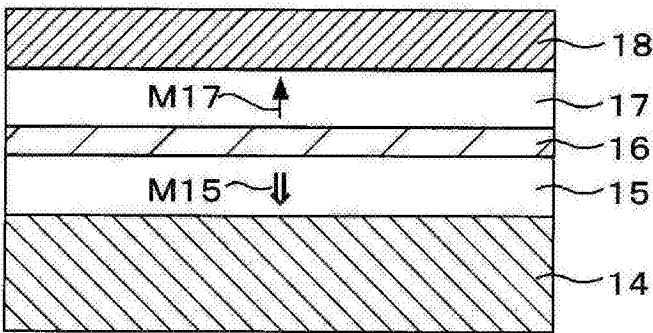


图2



3

图3A

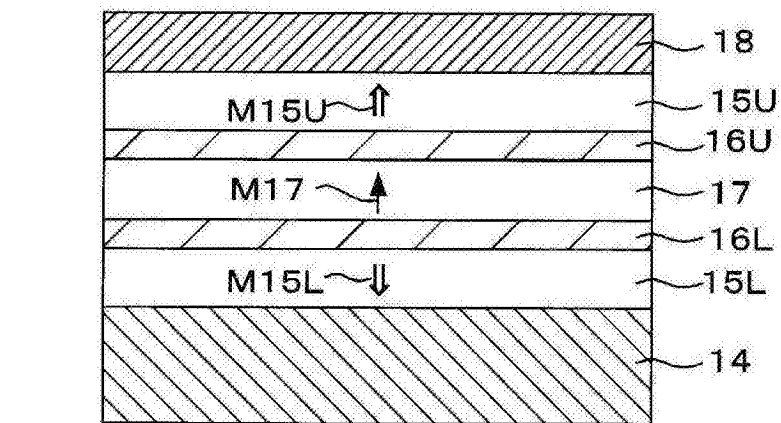


图3B

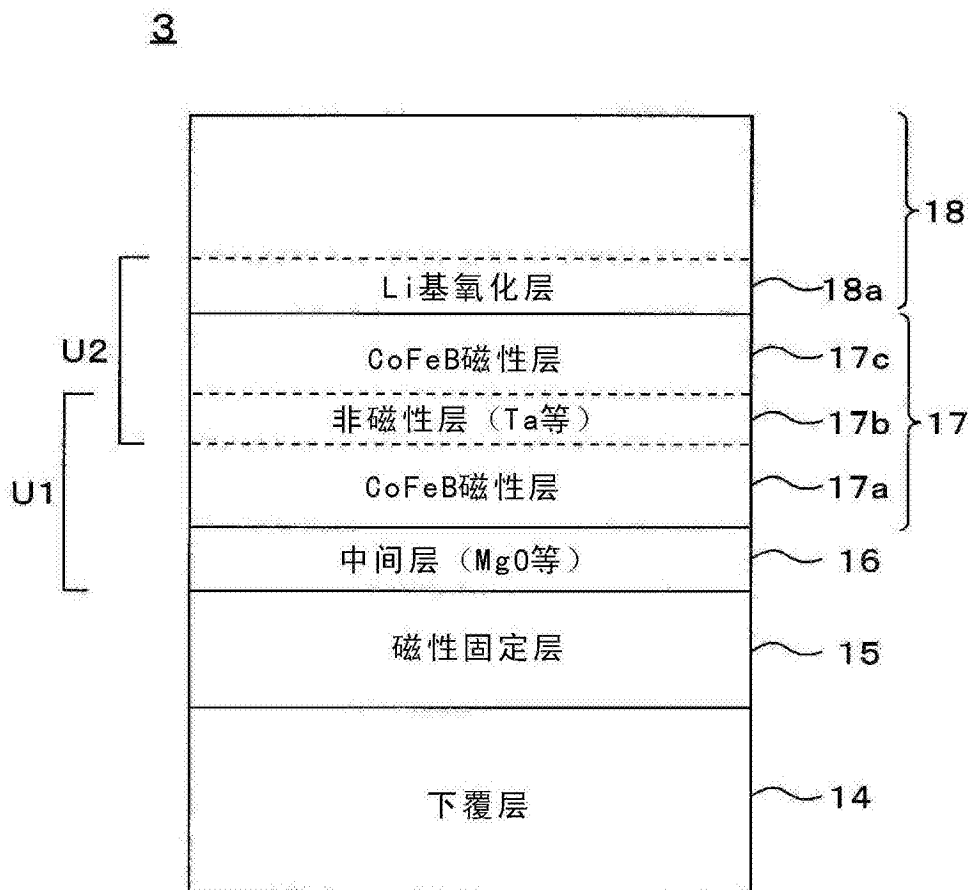


图4

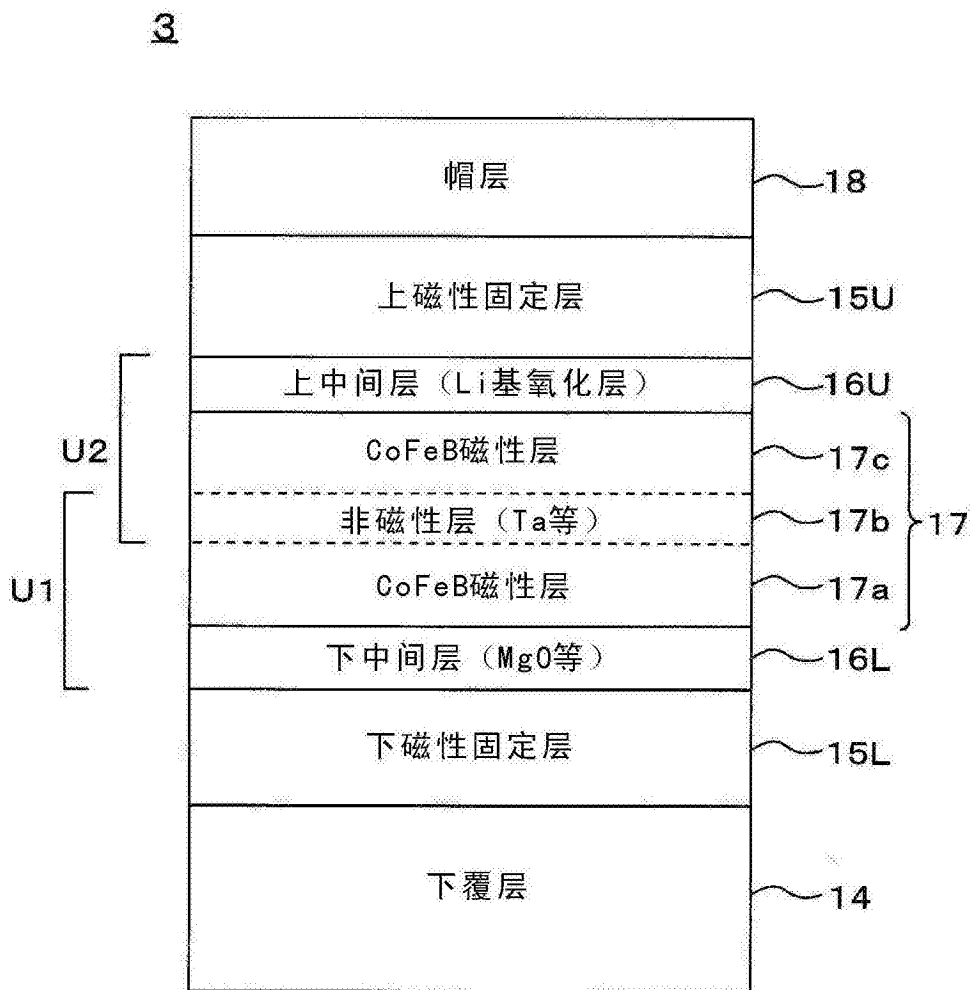
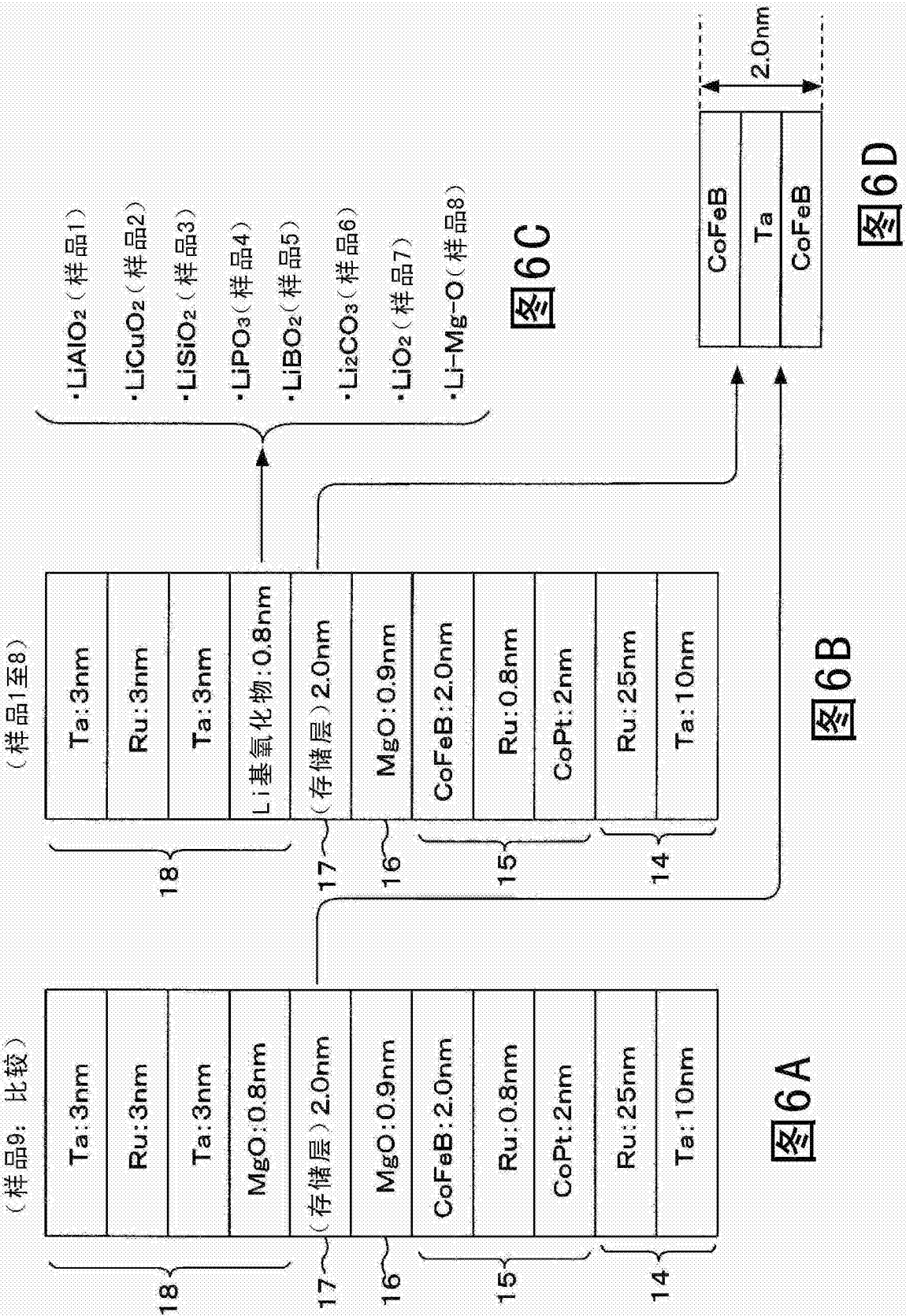


图5



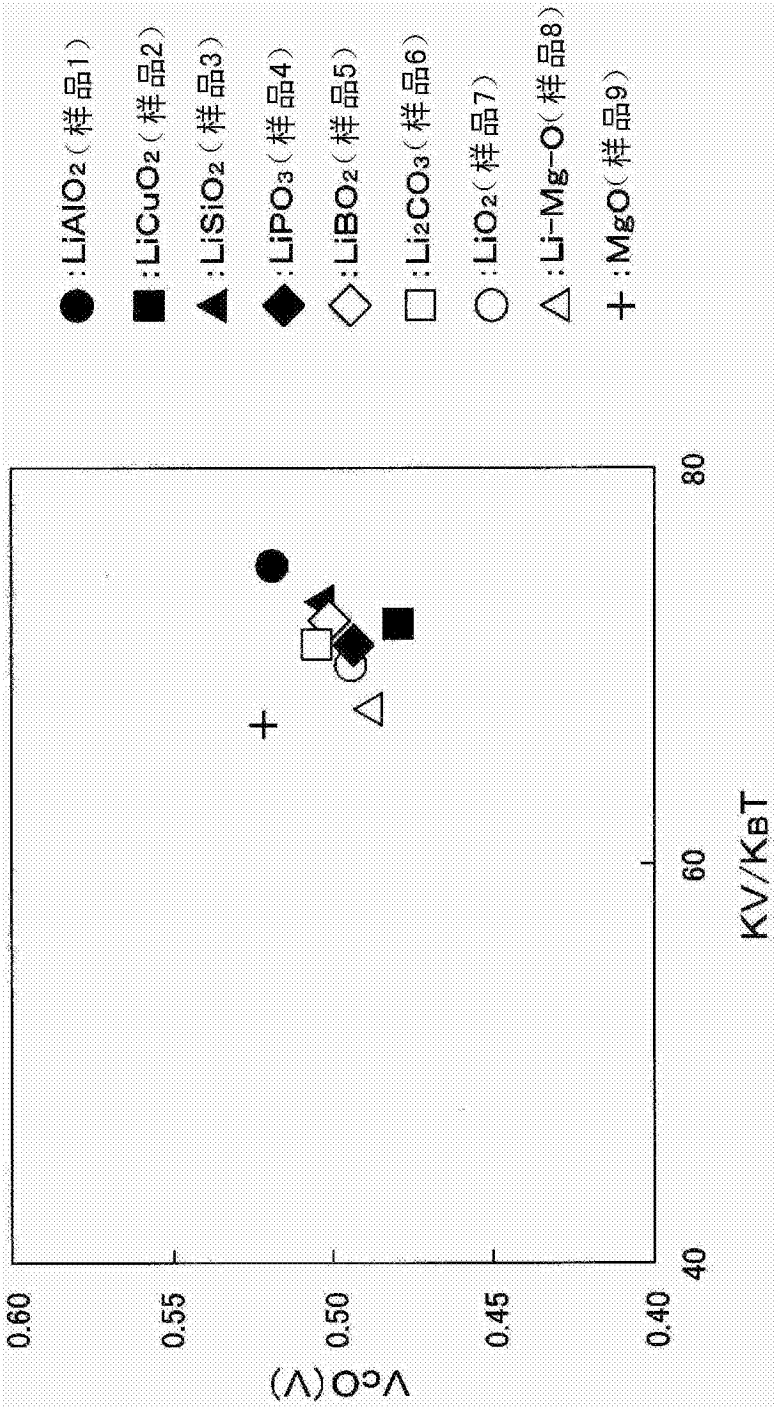


图7

