



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102385923 A

(43) 申请公布日 2012. 03. 21

(21) 申请号 201110249775. 9

(22) 申请日 2011. 08. 26

(30) 优先权数据

2010-196418 2010. 09. 02 JP

(71) 申请人 索尼公司

地址 日本东京

(72) 发明人 别所和宏 细见政功 大森广之

肥后丰 山根一阳 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 吴孟秋 梁韬

(51) Int. Cl.

G11C 16/06 (2006. 01)

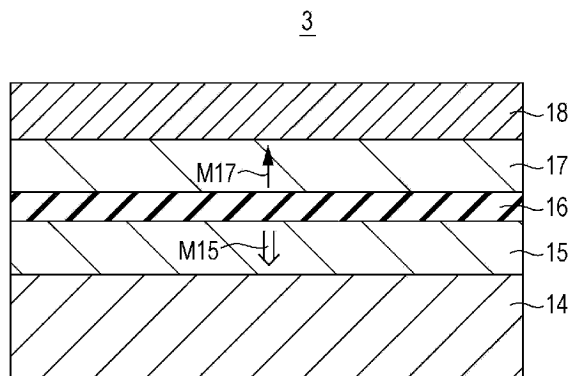
权利要求书 1 页 说明书 14 页 附图 5 页

(54) 发明名称

存储元件和存储设备

(57) 摘要

本发明公开了存储元件和存储设备。该存储元件包括存储层,通过磁性材料的磁化状态保持信息;磁化固定层,具有作为存储在存储层中信息的基准的磁化;以及中间层,由非磁性材料形成并设在存储层和磁化固定层之间。利用根据在具有存储层、中间层和磁化固定层的层结构的层压方向上流动的电产生的自旋矩磁化反转对存储层的磁化进行反转以执行信息存储,存储层包括含有Fe和Co中至少一种的合金区域,以及存储层在其磁化反转期间接收的有效反磁场的大小小于存储层的饱和磁化量。



1. 一种存储元件,包括:

存储层,通过磁性材料的磁化状态保持信息;

磁化固定层,具有作为存储在所述存储层中的信息的基准的磁化;以及

中间层,由非磁性材料形成并设在所述存储层和所述磁化固定层之间,

其中,利用根据在具有所述存储层、所述中间层和所述磁化固定层的层结构的层压方向上流动的电流产生的自旋矩磁化反转,对所述存储层的磁化进行反转来执行信息的存储,

所述存储层包括含有 Fe 和 Co 中至少一种的合金区域,并且

所述存储层在其磁化反转期间接收的有效反磁场的大小小于所述存储层的饱和磁化量。

2. 根据权利要求 1 所述的存储元件,

其中,构成所述存储层的铁磁性材料包括 Co-Fe 合金。

3. 根据权利要求 2 所述的存储元件,

其中,所述存储层由 $\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x}$ 表示的合金形成,并且易磁化轴方向垂直于膜表面,这里, x 为原子%,并且 $0 \leq x \leq 40$ 。

4. 根据权利要求 2 所述的存储元件,

其中,所述存储层由 $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_y\text{M}_{1-y}$ 表示的合金形成,并且易磁化轴方向垂直于膜表面,

这里, M 是不同于 Fe 和 Co 的元素, x 和 y 为原子%, $0 \leq x \leq 40$, 并且 $0 < y < 100$ 。

5. 一种存储设备,包括:

存储元件,通过磁性材料的磁化状态保持信息;以及

两种配线,彼此交叉,

其中,所述存储元件包括通过磁性材料的磁化状态保持信息的存储层、具有作为存储在所述存储层中的信息的基准的磁化的磁化固定层以及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的中间层,

利用根据在具有所述存储层、所述中间层和所述磁化固定层的层结构的层压方向上流动的电流产生的自旋矩磁化反转,对存储层的磁化进行反转来执行信息的存储,

所述存储层包括含有 Fe 和 Co 中至少一种的合金区域,

所述存储层在其磁化反转期间接收的有效反磁场的大小小于所述存储层的饱和磁化量,

所述存储元件设置在所述两种配线之间,并且

电流通过所述两种配线在所述层压方向上流向所述存储元件,由此,产生自旋矩磁化反转。

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利用自旋矩磁化反转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装置的快速发展,在诸如存储元件和逻辑元件的元件中追求诸如高集成度、高速度、低功耗的进一步的高性能化。特别地,半导体非易失性存储器有了显著的进步,并且作为大容量文件存储器,闪存已经被广泛使用,而且有排除硬盘驱动器的趋势。同时,着眼于代码存储器或工作存储器的开发,作为目前常用的 NOR 闪存、DRAM 等的替代物,FeRAM(铁电随机存取存储器)、MRAM(磁性随机存取存储器)、PCRAM(相变随机存取存储器)等的开发已经取得进展。它们中的一部分已经投入实际使用。

[0003] 在它们中,MRAM 使用磁体的磁化方向执行数据存储,从而可以进行高速并且几乎是不受限制(10^{15} 次或更多)的重写,因此,MRAM 已经用于诸如工业自动化和飞机的领域中。由于高速操作和可靠性,因此希望在不久的将来把 MRAM 扩展至代码存储器或工作存储器,但是实际上,MRAM 面临降低功耗和增加容量的挑战。这是由 MRAM 的记录原理(也就是,使用由配线(interconnect)产生的电流磁场进行反转磁化的方法)所造成的根本性问题。

[0004] 作为解决该问题的一种方法,考虑采用不用电流磁场的记录方法,也就是,磁化反转方法。具体地,已经积极开展了对自旋矩磁化反转的研究(例如,参见日本未审专利申请公开第 2003-17782 号和第 2008-227388 号、美国专利第 6256223 号的说明书、Phys. Rev. B, 54, 9353(1996) 以及 J. Magn. Mat., 159, L1(1996))。

[0005] 自旋矩磁化反转的存储元件通常使用与 MRAM 相同方式的 MTJ(磁性隧道结)进行配置。

[0006] 该配置利用这样的现象,当通过固定在任意方向上的磁性层的旋转极性电子进入另一自由(方向不固定)磁性层时,旋转极性电子将转矩施加于自由磁性层(这也被称为自旋转移矩),在任意阈值的电流或更大电流流过的情况下,自由磁性层反转。通过改变电流极性执行 0/1 的重写。

[0007] 在元件大约为 $0.1\mu\text{m}$ 尺寸时,用于该反转的电流的绝对值是 1mA 或更小。此外,该电流与元件体积成比例地下降,从而按比例缩放(scaling)成为可能。此外,不需要 MRAM 中的产生记录电流磁场所需的字线,从而具有单元结构简单的优势。

[0008] 在下文中,将利用自旋矩磁化反转的 MRAM 称为 ST-MRAM(自旋矩磁性随机存取存储器)。可将自旋矩磁化反转称为自旋注入磁化反转。人们对作为能够实现低功耗和大容量而同时保持 MRAM 的可以执行高速和几乎无限制的重写的优点的非易失性存储器的 ST-MRAM 寄予很大的期望。

[0009] 图 6 和图 7 示出了 ST-MRAM 的示意图。图 6 是透视图,图 7 是截面图。在诸如硅衬底的半导体衬底 60 上,在由元件隔离层 52 隔离的部分分别形成漏极区域 58、源极区域

57 和栅电极 51, 它们构成用于选择各个存储单元的选择晶体管。在它们之中, 栅电极 51 也可起到在图 7 中前后方向上延伸的字线的作用。

[0010] 漏极区域 58 形成为在图 7 中的左侧和右侧选择晶体管的公用漏极区域, 配线 59 与漏极区域 58 连接。

[0011] 存储元件 53 具有通过自旋矩磁化反转使磁化方向反转的存储层, 并且存储元件 53 设置在源极区域 57 与位线 56 之间, 位线 56 被设置在图 6 中上侧并在左右方向上延伸。

[0012] 存储元件 53 例如通过磁性隧道结元件 (MTJ 元件) 进行配置。存储元件 53 具有两个磁性层 61 和 62。在两个磁性层 61 和 62 中, 一侧的磁性层被设置为磁化方向固定的磁化固定层, 另一侧的磁性层被设置为磁化方向变化的磁化自由层, 也就是存储层。

[0013] 此外, 存储元件 53 分别通过上下接触层 54 与各个位线 56 和源极区域 57 连接。在该方式下, 当使电流流向存储元件 53 时, 可通过自旋注入反转存储层的磁化方向。

发明内容

[0014] 然而, 在 MRAM 的情况下, 独立于存储元件提供写入配线 (字线或位线), 并且通过使电流流向写入配线而产生的电流磁场来执行信息的写入 (记录)。因此, 可以使写入所必需的足够量的电流流入写入配线。

[0015] 另一方面, 对于 ST-MRAM, 需要通过流向存储元件的电流执行自旋矩磁化反转来将存储层的磁化方向反转。

[0016] 由于信息的写入 (记录) 如上所述通过直接使电流流向存储元件来执行, 所以存储单元被配置为连接存储元件与选择晶体管以选择用于执行写入的存储单元。在这种情况下, 将流向存储元件的电流限制在能够流向选择晶体管的电流大小 (选择晶体管的饱和电流)。

[0017] 因此, 需要利用等于或小于选择晶体管的饱和电流的电流执行写入, 已知晶体管的饱和电流会随着小型化而下降, 因此为了 ST-MRAM 的小型化, 需要通过提高自旋转移效率来减小流向存储元件的电流。

[0018] 此外, 为了提高读出信号强度, 需要确保大的磁阻变化率, 为了实现这一点, 采用上述 MTJ 结构是有效的, 也就是, 以这样的方式配置存储元件: 将与存储层的两侧连接的中间层设置为隧道绝缘层 (隧道阻挡层)。

[0019] 在将隧道绝缘层用作中间层的情况下, 限制流向存储元件的电流量以防止隧道绝缘层的绝缘击穿。也就是, 从确保关于存储元件的重复写入的可靠性的角度来讲, 需要限制用于自旋矩磁化反转所必须的电流。

[0020] 由于这样的电流与存储层的膜厚度成比例, 并与存储层的饱和磁化的平方成比例, 因此通过调整这些值 (膜厚度或饱和磁化) 可有效减小这样的电流值 (例如, 参见 Appl. Phys. Lett., 77, 3809 (2000))。

[0021] 例如, 在美国专利第 7242045 号的说明书中, 公开了当记录材料的磁化量 (Ms) 下降时可减少电流值的事实。

[0022] 然而, 在另一方面, 由于 ST-MRAM 是非易失性存储器, 因此需要稳定地存储这种通过电流写入的信息。也就是, 需要确保关于在存储层的磁化中的热波动的稳定性 (热稳定)。

[0023] 此外,在不能保证存储层的热稳定性的情况下,可能由于热(操作环境中的温度)引起反转的磁化方法再次反转,导致写入错误。

[0024] 相比于相关技术中的 MRAM, ST-MRAM 中存储元件在按比例缩放方面有优势,也就是如上所述,从记录电流值的角度来看,优势在于存储层的体积可以很小。然而,由于体积小,只要其它特性相同,热稳定性可能恶化。

[0025] 因此,随着 ST-MRAM 的容量增加,存储元件的体积变小,因此确保热稳定性非常重要。

[0026] 因此,关于 ST-MRAM 的存储元件,热稳定性是非常重要的特性,因此在设计存储元件时,即使减小体积,也要确保其热稳定性。

[0027] 也就是,为了实现作为非易失性存储器的 ST-MRAM,需要减少用于自旋矩磁化反转的电流至等于或小于晶体管的饱和电流或者等于或小于击穿隧道阻挡的电流,并还需要确保用于保持纪录信息的热稳定性。

[0028] 如上所述,为了减少用于自旋矩磁化反转所需的电流,考虑了减少存储层的饱和磁化量 M_s 的方法或使存储层变薄的方法。例如,如美国专利第 7242045 号的说明书所述,将具有低饱和磁化量 M_s 的材料用作存储层的材料是有效的。

[0029] 然而,如上所述,在简单地使用具有低饱和磁化量 M_s 的材料的情况下,难以确保用于保持信息的热稳定性。

[0030] 因此,希望提供一种能够提高热稳定性而不增加写入电流的存储元件以及包括该存储元件的存储设备。

[0031] 根据本发明的一个实施方式,公开了一种存储元件,包括存储层,通过磁性材料的磁化状态保持信息;磁化固定层,具有作为存储在存储层中的信息的基准的磁化;以及中间层,由非磁性材料形成并设在存储层和磁化固定层之间,其中通过利用根据在具有存储层、中间层和磁化固定层的层结构的层压方向上流动的电流产生的自旋矩磁化反转对存储层的磁化进行反转来执行信息的存储。存储层包括含有铁(Fe)和钴(Co)中至少一个的合金区域,以及存储层在其磁化反转期间接收的有效反磁场的大小小于存储层的饱和磁化量。

[0032] 此外,构成存储层的铁磁性材料包括 Co-Fe 合金。

[0033] 此外,存储层由 $\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x}$ 表示的合金形成,并且易磁化轴方向垂直于膜表面,在这里, x 是原子%,并且 $0 \leq x \leq 40$ 。

[0034] 此外,存储层由 $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_y\text{M}_{1-y}$ 表示的合金形成,并且易磁化轴方向垂直于膜表面,在这里, M 是不同于 Fe 和 Co 的元素, x 和 y 是原子%, $0 \leq x \leq 40$, 并且 $0 < y < 100$ 。

[0035] 此外,根据本发明的另一实施方式,提供了一种存储设备,其包括存储元件,通过磁性材料的磁化状态保持信息;以及两种配线,彼此交叉。存储装置包括上述的本发明实施方式的存储元件,存储元件设置在两种配线之间,电流在通过两种配线的层压方向上流向存储元件,由此,产生自旋矩磁化反转。

[0036] 根据本发明实施方式的存储元件,设置有通过磁化材料的磁化状态保持信息的存储层,在存储层和磁化固定层之间设置有中间层,并且通过利用根据在层压方向上流动的电流产生的自旋矩磁化反转、对存储层的磁化进行反转来执行信息存储,从而可以通过电流在层压方向上的流动执行信息记录。此时,存储层在其磁化反转期间接收的反磁场

(diamagnetic field) 的大小小于存储层的饱和磁化量,从而存储层接收的反磁场变小,并且可以减小用于反转存储层的磁化方向所需的写入电流值。

[0037] 另一方面,即使在没有减小存储层的饱和磁化量时,也可以减小写入电流量,从而可以确保用于保持存储层足够的热稳定性所需的饱和磁化量。

[0038] 此外,根据本发明实施方式的存储设备的配置,电流通过两种配线在层压方向上流向存储元件,并发生自旋转移,从而利用电流通过两种配线在层压方向上流动导致的自旋矩磁化反转可以执行信息记录。

[0039] 此外,即使在存储层的饱和磁化量减小的情况下,也可以减小写入电流的量,从而记录在记录元件中的信息被稳定地保持,并可以实现记录设备的小型化、可靠性的提高和功耗的降低。

[0040] 根据本发明的实施方式,即使在减小存储层的饱和磁化量时,也可以减少存储元件的写入电流量,从而可以通过充分确保作为信息保持能力的热稳定性来配置特性平衡优异的存储元件。

[0041] 以这种方式,可以通过减小操作错误以充分获得存储元件的操作裕度。

[0042] 因此,可以实现稳定操作的高可靠性存储器。

[0043] 此外,减小写入电流,从而可以在写入存储元件时降低功耗。

[0044] 因此,可以降低整个存储设备的功耗。

附图说明

[0045] 图 1 是示出根据本发明实施方式的存储器的示意性配置的说明图;

[0046] 图 2 是示出根据本发明实施方式的存储元件的截面图;

[0047] 图 3 是示出大小为 $0.09 \times 0.18 \mu\text{m}$ 的存储层的 Co 量和反转电流密度之间的关系图;

[0048] 图 4 是示出大小为 $0.09 \times 0.18 \mu\text{m}$ 的存储层的 Co 量和热稳定性的指标之间的关系图;

[0049] 图 5 是示出大小为 $0.05 \times 0.05 \mu\text{m}$ 的存储层的 Co 量和热稳定性的指标之间的关系图;

[0050] 图 6 是示出 ST-MRAM 的示意性配置的说明图;以及

[0051] 图 7 是图 6 的 ST-MRAM 的截面图。

具体实施方式

[0052] 在下文中,将以下列顺序描述本发明的实施方式。

[0053] 1. 实施方式的存储元件的概述

[0054] 2. 实施方式的配置

[0055] 3. 实验

[0056] 1. 实施方式的存储元件的概述

[0057] 首先,将描述根据本发明的实施方式的存储元件的概况。

[0058] 根据本发明的实施方式,通过上述的自旋矩磁化反转对存储元件的存储层的磁化方向进行反转以执行信息记录。

[0059] 存储层由诸如铁磁层的磁性材料形成,并通过磁性材料的磁化状态(磁化方向)保持信息。

[0060] 存储元件具有如图 2 的实例所示的层结构,并至少包括作为两个铁磁性层的存储层 17 和磁化固定层 15,以及设在两个磁性层之间的中间层 16。

[0061] 存储层 17 具有垂直于膜表面的磁化,并且磁化方向对应于信息而变化。

[0062] 磁化固定层 15 具有作为存储在存储层 17 中的信息的基准并与膜表面垂直的磁化。

[0063] 中间层 16 由非磁性材料形成并设在存储层 17 和磁化固定层 15 之间。

[0064] 在具有存储层 17、中间层 16 和磁化固定层 15 的层压结构的层压方向上注入自旋极化电子,存储层 17 的磁化方向变化,从而信息被记录在存储层 17 中。

[0065] 这里,将简单描述自旋矩磁化反转。

[0066] 电子具有两种自旋角动量。将这些动量定义为向上方向和向下方向。两者在非磁性材料内部的数量相同,在铁磁性材料内部数量不同。对于构成 ST-MRAM 的两层铁磁性材料的磁化固定层 15 和存储层 17,将考虑当各个磁矩的方向处于反转方向状态时,电子从磁化固定层 15 移动到存储层 17 的情况。

[0067] 磁化固定层 15 是固定的磁层,因为高矫顽力其磁矩方向是固定的。

[0068] 通过磁化固定层 15 的电子是自旋极化的,也就是,面向上和面向下的数量彼此不同。当非磁性层的中间层 16 的厚度足够薄时,在电子通过磁化固定层 15 后自旋极化会减轻,并且电子在成为普通的非极化材料的非极化状态(面向上和面向下的数量相同)之前,到达另一磁性材料,即存储层 17。

[0069] 在存储层 17 中,自旋极化的符号反转,从而为了降低系统能量,部分电子反转,也就是,自旋角动量的方向交换。此时,需要保持系统的全部角动量,从而通过其方向变化的电子的等于全部角动量的反作用施加至存储层 17 的磁矩。

[0070] 在电流(也就是电子数量)小的情况下,方向被改变的电子的总数量变小,从而发生在存储层 17 的磁矩中的角动量变化变小,但是当电流增加时,可以在单位时间内对角动量施加大的变化。

[0071] 角动量随时间的变化是转矩,当转矩超过阈值时,存储层 17 的磁矩开始进动,并且由于其单轴各向异性而旋转 180° 并变得稳定。也就是,发生从反转方向状态到相同方向状态的反转。

[0072] 当磁化为相同方向状态时,如果在电流的方向上,使电流从存储层 17 至磁化固定层 15 反向流动,当从磁化固定层 15 反射时自旋反转的电子进入存储层 17,施加了转矩,并可以将磁矩反转为反转方向状态。然而,此时,用于引起该反转所需的电流量大于从反转方向状态反转为相同方向状态的电流量。

[0073] 难以直观地理解磁矩从相同方向状态反转为反转方向状态,但是可以这样考虑:磁化固定层 15 是固定的,从而磁矩未被反转,并且为了保持整个系统的角动量,存储层 17 被反转。如上所述,通过特定阈值或更大电流(对应于各个极化)从磁化固定层 15 到存储层 17 或其相反的方向的流动,执行 0/1 的记录。

[0074] 通过使用与相关技术的 MRAM 相似的磁阻效果,执行信息的读出。也就是,与上述记录的情况一样,使电流在与膜表面垂直的方向上流动。此外,利用这样的现象:元件所显

示的电阻根据存储层 17 的磁矩与磁化固定层 15 的磁矩是相同方向还是相反方向而变化。

[0075] 用于设在磁化固定层 15 和存储层 17 之间的中间层 16 的材料可以是金属材料或绝缘材料,但是绝缘材料可用于中间层以获得相对高的读出信号强度(电阻变化比),并可以通过相对低的电流实现记录。将此时的元件称为铁磁隧道结(磁性隧道结:MTJ)。

[0076] 当由于自旋矩磁化反转而反转磁性层的磁化方向时,由下式(1)表达所需的电流阈值 I_c 。

$$I_c = A \cdot \alpha \cdot M_s \cdot V \cdot H_d / 2 \eta \quad (1)$$

[0078] 在这里, A :常数, α :自旋制动常数, η :自旋注入效率, M_s :饱和磁化量, V :存储层的体积,以及 H_d :有效反磁场。

[0079] 如公式(1)所示,通过控制磁性层的体积 V 、磁性层的饱和磁化 M_s 、自旋注入效率 η 以及自旋制动常数 α ,电流的阈值可设置为任意值。

[0080] 在本实施方式中,存储元件包括能够通过磁化状态保持信息的磁层(存储层 17),以及磁化方向固定的磁化固定层 15。

[0081] 存储元件需要保持写入信息以作用存储器。这由作为保持信息能力的指标的热稳定性指标 $\Delta (= KV/K_B T)$ 的值确定。上述 Δ 由以下公式(2)表示。

$$\Delta = KV/K_B T = M_s \cdot V \cdot H_k \cdot (1/2K_B T) \quad (2)$$

[0083] 在这里, H_k :有效的各向异性场, K_B :玻尔兹曼常数, T :温度, M_s :饱和磁化量,以及 V :存储层的体积。

[0084] 有效的各向异性场 H_k 受到形状磁性各向异性、感生磁性各向异性、晶体磁性各向异性等的影响,并且在假设单畴的一致转动模型时,有效的各向异性场变得与抗磁力相同。

[0085] 热稳定性的指标 Δ 和电流的阈值 I_c 通常为平衡关系。因此,兼容性成为保持存储特性中的问题。

[0086] 对于改变存储层的磁化状态的电流阈值,实际上,例如,在存储层 17 的厚度为 2nm 的 TMR 元件中,平面图案基本上为 $100\text{nm} \times 150\text{nm}$ 的椭圆形状,正侧的阈值 $+I_c$ 为 $+0.5\text{mA}$,负侧的阈值 $-I_c$ 为 -0.3mA ,并且此时的电流密度基本上为 $3.5 \times 10^6 \text{A}/\text{cm}^2$ 。这些基本上对应于上述公式(1)。

[0087] 相反,在由电流磁场执行磁化反转的普通 MRAM 中,必需数个 mA 以上的写入电流。

[0088] 因此,在 ST-MRAM 的情况下,上述写入电流的阈值变得足够小,从而可有效降低集成电路的功耗。

[0089] 此外,不需要用于产生电流磁场的配线(其对于普通的 MRAM 是必须的),从而关于集成度,相比于普通 MRAM 具有优势。

[0090] 在执行自旋矩磁化反转时,由于通过使电流直接流向存储元件来执行信息的写入(记录),因此为了选择执行写入的存储单元,存储元件被连接至选择晶体管以构建存储单元。

[0091] 在这种情况下,将流向存储元件的电流限制为能够使其流向选择晶体管的电流(选择晶体管的饱和电流)的大小。

[0092] 为了使通过注入自旋而磁化反转的电流的阈值 I_c 小于选择晶体管的饱和电流,从公式(1)可以看到,减小存储层 17 的饱和磁化量 M_s 是有效的。

[0093] 然而,在简单地减小饱和磁化量 M_s (例如,美国专利第 7242045 号)的情况下,存

储层 17 的热稳定性显著下降,因此存储元件难以用作存储器。

[0094] 为了构建存储器,需要热稳定性的指标 Δ 等于或大于特定程度的大小。

[0095] 本发明人已经进行了各种研究,结果,他们发现当构成存储层 17 的铁磁性层由包括钴 (Co) 和铁 (Fe) 的合金形成、并且选择 Co-Fe 的组成,存储层 17 接收的有效反磁场 ($M_{\text{effective}}$) 小于存储层 17 的饱和磁化量 M_s 。

[0096] 通过使用上述铁磁性材料,存储层 17 接收的有效的反磁场的大小小于存储层 17 的饱和磁化量 M_s 。

[0097] 以这种方式,可以使存储层 17 接收的反磁场变小,从而通过公式 (1) 可以获得减小电流阈值 I_c 的效果,并且不会使由公式 (2) 表示的热稳定性 Δ 恶化。

[0098] 此外,本发明人已经发现在所选择的 Co-Fe 组合物的有限组成范围内,Co-Fe 在垂直于膜表面方向上磁化,由此,即使在能够实现 G 比特级容量的极小记录元件的情况下,也可以确保足够的热稳定性。

[0099] 因此,在 G 比特级的 ST-MRAM 中确保热稳定性的状态下,可以制造稳定的利用低电流写入信息的存储器。

[0100] 在本实施方式中,配置为使得存储层 17 接收的有效反磁场的大小小于存储层 17 的饱和磁化量 M_s ,也就是,有效反磁场的大小相对于存储层 17 的饱和磁化量 M_s 的比小于 1。

[0101] 此外,磁性隧道结 (MTJ) 元件被如下配置:考虑到选择晶体管的饱和电流值,使用由绝缘材料形成的隧道绝缘层作为设置在存储层 17 和磁化固定层 15 之间的非磁性中间层 16。

[0102] 通过使用隧道绝缘层配置磁性隧道结 (MTJ) 元件,从而相比于通过使用非磁性导体层配置的巨磁阻效应 (GMR) 元件的情况,可以使磁阻变化率 (MR 率) 变大,从而可以使读出信号强度增大。

[0103] 特别是当氧化镁 (MgO) 用作作为隧道绝缘层的中间层 16 的材料时,相对于使用通常使用的氧化铝的情况,可以使磁阻变化率 (MR 率) 变大。

[0104] 此外,通常,自旋转移效率取决于 MR 率,并且随着 MR 率增大,自旋转移效率提高,因此可以减小磁化反转电流密度。

[0105] 因此,当氧化镁用作隧道绝缘材料的材料并使用存储层 17 时,可以通过自旋矩磁化反转减小阈值写入电流,因此,可以利用小电流执行信息的写入 (记录)。此外,可以使读出信号强度增大。

[0106] 以这种方式,可以通过确保 MR 率 (TMR 率) 减小自旋矩磁化反转的写入阈值电流,并可以用小电流执行信息的写入 (记录)。此外,可以使读出信号强度增大。

[0107] 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 膜结晶,从而在 (001) 方向上保持结晶取向。

[0108] 此外,在本实施方式中,除了由氧化镁形成的配置,例如可通过使用例如各种绝缘材料、电介质材料和半导体 (例如氧化铝、氮化铝、 SiO_2 、 Bi_2O_3 、 MgF_2 、CaF、 SrTiO_2 、 AlLaO_3 和 Al-N-O) 配置设在存储层 17 和磁化固定层 15 之间的中间层 16 (隧道绝缘层)。

[0109] 从获得通过自旋矩磁化反转对存储层 17 的磁化方向进行反转所需的电流密度的角度考虑,需要将隧道绝缘层的面积电阻值控制在几十个 $\Omega \mu\text{m}^2$ 或者更小。

[0110] 在由 MgO 膜形成的隧道绝缘层中,为了将面积电阻值保持在上述范围内,需要将 MgO 膜的膜厚度设置为 1.5nm 或更小。

[0111] 此外,希望将存储元件变小,以便容易地用小电流对存储层 17 的磁化方向进行反转。

[0112] 因此,优先地,将存储元件的面积设置为 $0.01 \mu\text{m}^2$ 或者更小。

[0113] 此外,作为本发明的实施方式,可以将除 Co 和 Fe 之外的元素加入到存储层 17 中。

[0114] 当添加不同种类的元素时,可得到诸如由于防止扩散而使耐热性提高或磁阻效果提高、以及伴随平面化的绝缘击穿电压增加的效果。作为该添加的元素的材料,可使用 B、C、N、O、F、Mg、Si、P、Ti、V、Cr、Mn、Ni、Cu、Ge、Nb、Mo、Ru、Rh、Pd、Ag、Ta、W、Ir、Pt、Au、Zr、Hf、Re、Os 或其合金。

[0115] 此外,作为本实施方式的存储层 17,可以直接层压具有不同组成的铁磁性层。此外,可层压铁磁性层和软磁性层,或通过软磁性层或非磁性层层压多个铁磁性层。在这种方式的层压的情况下,可以获得本发明的效果。

[0116] 特别地,在通过(介由)非磁性层层压多个铁磁性层的情况下,可以调整铁磁性层之间的相互作用的强度,从而即使在存储元件的尺寸在亚微米以下,也可以获得控制磁化反转电流不增大的效果。作为这种情况下的非磁性层的材料,可使用 Ru、Os、Re、Ir、Au、Ag、Cu、Al、Bi、Si、B、C、Cr、Ta、Pd、Pt、Zr、Hf、W、Mo、Nb 或其合金。

[0117] 希望磁化固定层 15 和存储层 17 具有单向的各向异性。

[0118] 此外,每个磁化固定层 15 和存储层 17 的膜厚度优选为 0.5nm ~ 30nm。

[0119] 存储元件的其他配置可与相关技术中通过自旋矩磁化反转记录信息的存储元件的配置相同。

[0120] 可以这样的方式配置磁化固定层 15:仅通过铁磁性层或通过使用反铁磁性层和铁磁性层的反铁磁性耦合固定磁化方向。

[0121] 此外,可通过单层铁磁性层或者介由非磁性层层压了多个铁磁性层的铁钉结构(ferri-pin structure)配置磁化固定层 15。

[0122] 作为构成层压铁钉结构的磁化固定层 15 的铁磁性层的材料,可使用 Co、CoFe、CoFeB 等。此外,作为非磁性层的材料,可使用 Ru、Re、Ir、Os 等。

[0123] 作为反铁磁性层的材料,可以为诸如 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。

[0124] 此外,可通过将诸如 Ag、Cu、Au、Al、Si、Bi、Ta、B、C、O、N、Pd、Pt、Zr、Hf、Ir、W、Mo 和 Nb 的非磁性元素加入到上述磁性材料,来调整磁性特性,或者除此之外,还可调整诸如结晶结构、结晶性质、物质稳定性等各种物理性质。

[0125] 此外,关于存储元件的膜配置,存储层 17 可设置在磁化固定层 15 的下侧或在其上侧,在任何布置中都没有问题。此外,在磁化固定层 15 设置在存储层 17 的上侧和下侧(所谓的双重结构)的情况下也没有问题。

[0126] 此外,作为读出记录在存储元件的存储层 17 中的信息的方法,将成为信息基准的磁性层通过薄的绝缘膜设在存储元件的存储层 17 上,并且可通过流经绝缘层(中间层 16)的铁磁性隧道电流来执行读出,或者通过磁阻效应执行读出。

[0127] 2. 实施方式的配置

[0128] 随后,将描述本发明此实施方式的具体配置。

[0129] 作为本发明的一个实施方式,图 1 示出了存储设备的示意性配置图(透视图)。

[0130] 该存储设备包括能够在磁化状态保持信息的存储元件 3,它被设置在相互垂直的两种地址配线(例如,字线和位线)的交叉点附近。

[0131] 具体地,构成用于选择各个存储单元的选择晶体管的漏极区域 8、源极区域 7 和栅电极 1 分别形成在由诸如硅衬底的半导体衬底 10 的元件分离层 2 分离的部分。在它们之中,栅电极 1 还用作在图的前后方向上延伸的一侧地址配线(例如,字线)。

[0132] 漏极区域 8 形成为由左侧和右侧选择晶体管共用,并且配线 9 与漏极区域 8 连接。

[0133] 存储元件 3 设置在源极区域 7 和另一侧的地址配线(例如,位线)6 之间,地址配线设置在上侧并在图中左右方向延伸。该存储元件 3 具有包括其磁化方向由于自旋注入而反转的铁磁性层的存储层。

[0134] 此外,存储元件 3 设置在两种地址配线 1 和 6 的交叉点附近。

[0135] 存储元件 3 分别通过上下接触层 4 与位线 6 和源极区域 7 连接。

[0136] 以这种方式,电流通过两种地址配线 1 和 6 在垂直方向上流入存储元件 3,并且存储层的磁化方向可以通过自旋矩磁化反转而被反转。

[0137] 此外,图 2 示出了根据本实施方式的存储设备的存储元件 3 的截面图。

[0138] 如图 2 所示,存储元件 3 具有相对于存储层 17 设在较低层的磁化固定层 15,其中在存储层 17 中通过自旋矩磁化反转将磁化 M17 的磁化方向反转。

[0139] 关于 ST-MRAM,通过存储层 17 的磁化 M17 和磁化固定层 15 的磁化 M15 之间的相对角来定义信息 0 和 1。

[0140] 用作隧道阻挡层(隧道绝缘层)的中间层 16 设在存储层 17 和磁化固定层 15 之间,因此,通过存储层 17 和磁化固定层 15 配置 MTJ 元件。

[0141] 此外,底层 14 形成在磁化固定层 15 的下面,顶层(cap layer)18 形成在存储层 17 的上面。

[0142] 在此实施方式中,特别地,调整存储元件 3 的存储层 17 的组成,从而存储层 17 接收的有效反磁场的大小变得小于存储层 17 的饱和磁化量 M_s 。

[0143] 也就是,如上所述,选择存储层 17 的铁磁材料 Co-Fe 的组成,并且使得存储层 17 接收的有效反磁场的大小变小,从而有效反磁场的大小变得小于饱和磁化量 M_s 。

[0144] 此外,在此实施方式中,在中间层 16 由氧化镁层形成的情况下,可以使磁阻变化率(MR 率)较高。

[0145] 当如上所述使 MR 率提高时,提高了自旋注入效率,因此可以减小反转存储层 17 的磁化 M17 方向所需的电流密度。

[0146] 本实施方式的存储元件 3 可通过在真空装置中从底层 14 至顶层 18 连续形成、并通过诸如后蚀刻等处理形成存储元件 3 的图案来制造。

[0147] 根据上述实施方式,以这样的方式配置存储元件 3 的存储层 17:存储层 17 接收的有效反磁场的大小小于存储层 17 的饱和磁化量 M_s ,从而存储层 17 接收的反磁场减小,并可以减小反转存储层 17 的磁化 M17 方向所需的写入电流量。

[0148] 另一方面,由于即使存储层 17 的饱和磁化量 M_s 没有减小,也可减小写入电流量,所以可以充分确保存储层 17 的饱和磁化量,因此,可以充分确保存储层 17 的热稳定性。

[0149] 如上所述,由于可以充分确保作为信息保持能力的热稳定性,所以可以配置具有优良的特性平衡的存储元件 3。

[0150] 以这种方式,消除了操作错误,并且充分获得存储元件 3 的操作裕度,从而可以稳定地操作存储元件 3。

[0151] 因此,可以实现高可靠性地稳定操作的存储器。

[0152] 此外,减少了写入电流,从而可以在执行写入存储元件 3 时降低功耗。

[0153] 因此,可以降低存储单元由本实施方式的存储元件 3 配置的存储器的整体功耗。

[0154] 因此,对于包括能够实现具有优异信息保持能力、具有高可靠性并且操作稳定的存储器的存储元件 3 的存储器,可以降低功耗。

[0155] 此外,在制造存储器时,包括图 2 所示的存储元件 3 并具有图 1 所示的配置的存储器的优点在于可以采用普通的半导体 MOS 形成加工。

[0156] 因此,可以将该实施方式的存储器用作通用存储器。

[0157] 3. 实验

[0158] 这里,关于本实施方式的存储元件 3 的配置,通过特别选择构成存储层 17 的铁磁性层的材料,调节存储层 17 接收的有效反磁场的大小,从而制造出存储元件 3 的样品,然后检验其特性。

[0159] 在实际的存储设备中,如图 1 所示,除了存储元件 3 外,还存在用于切换的半导体电路等,但是这里,为了研究存储层 17 的磁化反转特性,对仅形成有存储元件的晶片进行检测。

[0160] 实验 1

[0161] 在厚度为 0.725mm 的硅衬底上形成厚度为 300nm 的热氧化膜,并在热氧化膜上形成具有图 2 所示配置的存储元件 3。

[0162] 具体地,对于图 1 所示的存储元件 3,如下所述地选择各个层的材料和膜厚度。

[0163] • 底层 14:膜厚度为 10nm 的 Ta 膜和膜厚度为 25nm 的 Ru 膜的层压膜

[0164] • 磁化固定层 15:膜厚度为 2.5nm 的 CoFeB 膜

[0165] • 中间层(隧道绝缘层)16:膜厚度为 0.9nm 的氧化镁膜

[0166] • 存储层 17:CoFe 膜

[0167] • 顶层 18:膜厚度为 3nm 的 Ta 膜、厚度为 3nm 的 Ru 膜和厚度为 3nm 的 Ta 膜的层压膜

[0168] 各个层按上述方式选择,将膜厚度为 100nm 的 Cu 膜(用作下述的字线)(未示出)设在底层 14 和硅衬底之间。

[0169] 在上述配置中,存储层 17 的铁磁性层由 Co-Fe 的二元合金形成,并且铁磁性层的膜厚度被固定为 2.0nm。

[0170] 使用 DC 磁控管溅射法形成除由氧化镁膜形成的中间层 16 之外的各个层。

[0171] 使用 RF 磁控管溅射法形成由氧化镁(MgO)膜形成的中间层 16。

[0172] 此外,在形成存储元件 3 的每一层后,在磁场热处理炉中执行加热处理。

[0173] 接下来,通过光刻法对字线部分掩模后,通过 Ar 等离子体对字线部分之外的层压膜进行选择性地蚀刻,从而形成字线(下电极)。此时,在衬底上将字线之外的部分蚀刻至 5nm 的深度。

[0174] 然后,通过电子束绘图装置形成存储元件 3 的图案的掩模,对层压膜进行选择性地蚀刻,从而形成存储元件 3。将存储元件 3 之外的部分蚀刻至直接位于 Cu 层上的字线部分。

[0175] 此外,在用于特性评估的存储设备中,需要使足够的电流流向存储元件以产生磁化反转所需的自旋矩,从而需要抑制隧道绝缘层的电阻值。因此,将存储元件 3 的图案设置为短轴为 $0.9 \mu\text{m}$ × 长轴为 $0.18 \mu\text{m}$ 的椭圆形,并将存储元件 3 的面积电阻值 ($\Omega \mu\text{m}^2$) 设置为 $20 \Omega \mu\text{m}^2$ 。

[0176] 接下来,通过将 Al_2O_3 溅射至厚度基本为 100nm 而使存储元件 3 之外的部分绝缘。

[0177] 随后,通过使用光刻法形成用作上电极的位线和测量垫 (measurement pad)。

[0178] 以这种方式,制造了存储元件 3 的样品。

[0179] 通过上述制造方法,在存储元件 3 中改变存储层 17 的铁磁性层的 Co-Fe 合金的组成,制造存储元件 3 的各个样品。

[0180] 在 Co-Fe 合金的组成中,CoFe 中 Co 的 Co 组成比,也就是, x (原子%) 被改变为 90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10% 和 0%。

[0181] 对于按照上述方式制造的各个存储元件 3 的样品,可按下述方式进行特性评估。

[0182] 在测量之前,将磁场从外侧施加至存储元件 3 以控制反转电流,从而正方向上的值和负方向上的值彼此对称。此外,在不击穿绝缘层 (中间层 16) 的范围内将应用于存储元件 3 的电压设至 1V。

[0183] 饱和磁化量的测量

[0184] 通过使用振动样品磁力计进行 VSM 测量以测量饱和磁化量 M_s 。

[0185] 有效反磁场的测量

[0186] 作为用于测量有效反磁场的样品,除了存储元件 3 的上述样品,还制造形成有构成存储元件 3 的各层的样品,然后将样品加工为具有 $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 平方的平面图案。

[0187] 此外,通过 FMR (铁磁化共振) 测量获得有效反磁场的大小 $M_{\text{effective}}$ 。

[0188] 通过以下公式 (3) 给出对于任意外部磁场 H_{ex} 的共振频率 f_{FMR} (通过 FMR 测量得到)。

$$f_{\text{FMR}} = \gamma' \sqrt{4\pi M_{\text{effective}} (H_K + H_{\text{ex}})} \quad (3)$$

[0190] 这里,公式 (3) 中的 $M_{\text{effective}}$ 由 $4\pi M_{\text{effective}} = 4\pi M_s - H_{\perp}$ 表示 ($H_{\perp}$: 在垂直于膜表面的方向上的各向异性场)。

[0191] 反转电流值和热稳定性的测量

[0192] 根据本实施方式,为了评估存储元件 3 的写入特性,测量反转电流值。

[0193] 使脉冲宽度为 $10 \mu\text{s}$ 至 100ms 的电流流向存储元件 3,然后测量存储元件 3 的电阻值。此外,改变流向存储元件 3 的电流值,然后获得反转存储元件 3 的存储层 17 的磁化 M_1 的方向的电流值。将通过该电流值的脉冲宽度依赖性外推至脉冲宽度 1ns 而获得的值设为反转电流值。

[0194] 此外,反转电流值的脉冲宽度依赖性的倾斜对应于存储元件 3 的热稳定性的上述指标 Δ 。通过脉冲宽度改变的反转电流值越小 (倾斜小),存储元件 3 抵抗热干扰的强度越高。

[0195] 此外,考虑到存储元件 3 自身的变化,制造了具有相同配置的 20 个存储元件 3,执行上述测量,获得反转电流值和热稳定性指标 Δ 的平均值。

[0196] 此外,由通过测量获得的反转电流值的平均值和存储元件 3 的平面图案的面积计算反转电流密度 J_{c0} 。

[0197] 关于存储元件 3 的各个样品,在表 1 中给出了存储层 17 的 Co-Fe 合金的组成、饱和磁化量 M_s 和有效反磁场的大小 $M_{\text{effective}}$ 的测量结果、以及有效反磁场与饱和磁化量的比 $M_{\text{effective}}/M_s$ 。这里,在表 1 中描述的存储层 17 的 Co-Fe 合金的 Co 量用原子%表示。

[0198] 表 1

[0199]

	M_s [emu/cc]	$M_{\text{effective}}$ [emu/cc]	$M_{\text{effective}}/M_s$
Co90Fe10	1250	1500	1.2
Co80Fe20	1410	1440	1.02
Co70Fe30	1760	1510	0.86
Co60Fe40	1820	1440	0.79
Co50Fe50	1880	1260	0.67
Co40Fe60	1890	1100	0.58
Co30Fe70	1970	1060	0.54
Co20Fe80	1900	950	0.5
Co10Fe90	1830	975	0.53
Fe	1750	990	0.57

[0200] 根据表 1,在 $\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x}$ 的 Co 量 x 是 70%或更小的情况下,有效反磁场的大小小于饱和磁化量 M_s ,也就是, $M_{\text{effective}}/M_s$ 的比在 Co 量 x 为 70%或更小的情况下小于 1.0。

[0201] 此外,在 Co 量 x 变为 20%之前,随着 Co 量 x 减小, $M_{\text{effective}}/M_s$ 的值下降,但是可以确定当 Co 量 x 进一步减小时,该比值略微增加。

[0202] 图 3 示出了反转电流值的测量结果,图 4 示出了热稳定性指标的测量值。

[0203] 图 3 示出了存储层 17 的 Co-Fe 合金中 Co 量 x (CoFe 中的含量;原子%) 和从反转电流值获得的反转电流密度 J_{c0} 之间的关系。

[0204] 图 4 示出了存储层 17 的 Co-Fe 合金中 Co 量 x (CoFe 中的含量;原子%) 和热稳定性的指标 Δ (kV/ $k_B T$) 之间的关系。

[0205] 从图 3 中可以看出,在 Co 量 x 为 70%或更少的情况下,随着 Co 量 x 减小,反转电流密度 J_{c0} 减小。

[0206] 这是因为在 Co 量 x 变小时,饱和磁化量 M_s 增加,但是有效反磁场 $M_{\text{effective}}$ 下降,因此它们的积 $M_s \times M_{\text{effective}}$ 变小。

[0207] 从图 4 可以看出,随着 Co 量 x 减小,热稳定性指标 Δ (kV/ $k_B T$) 增加,在 Co 量 x 为

70%或更小的情况下,热稳定性指标 Δ 稳定在较大的值上。

[0208] 这很好地对应于从表 1 所示的饱和磁化量 M_s 的测量结果以及公式 (2) 的热稳定性的指标 Δ 与饱和磁化量 M_s 成比例的趋势所预期的变化。

[0209] 从表 1、图 3 和图 4 的结果可以清楚地看出,在 Co 量 x 为 70%或更小并且有效反磁场 $M_{\text{effective}}$ 小于饱和磁化量 M_s 的组成中,可以减小反转电流值 J_{c0} 并保持高的热稳定性,而无需使用减小 M_s 并由此牺牲热稳定性的方法。

[0210] 实验 2

[0211] 从上述实验 1 可以看出,在 $\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x}$ 的情况下,在 Co 量 x 为 70%或更小的组成中,可以减小反转电流值 J_{c0} 并保持高的热稳定性。

[0212] 因此,在实验 2 中,将 B(硼)加入到 Co-Fe 合金中以研究不同种类的元素添加效果,并且通过使用具有组成 $(\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50})_{92}\text{B}_8$ 的存储层 17 检测由 B 造成的对 $M_{\text{effective}}/M_s$ 的影响。样品的细节与实验 1 中的基本上相同。

[0213] 作为其结果,关于 $(\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50})_{92}\text{B}_8$,饱和磁化量 M_s 和有效反磁场的大小 $M_{\text{effective}}$ 的值分别是 1550 (emu/cc) 和 950 (emu/cc),并且有效反磁场的大小与饱和磁化量的比 $M_{\text{effective}}/M_s$ 为 0.61。

[0214] 也就是,从上述结果可以清楚看出,即使加入 8 原子%的硼,饱和磁化量 M_s 和有效反磁场的幅度 $M_{\text{effective}}$ 之间的关系由 Co 和 Fe 的比确定。

[0215] 因此,可以认为存储层 17 的饱和磁化量 M_s 小于有效反磁场 $M_{\text{effective}}$ 的配置不会受到添加不同种类元素的妨碍。也就是,为了产生高隧道磁阻效应、为了增加通过平面化界面的绝缘击穿电压等,可以增加诸如硼的添加元素。

[0216] 实验 3

[0217] 在 G 比特级的自旋注入型存储器中,假设记录元件的大小为 $100\text{nm}\phi$ 或更小。这里,在实验 3 中,通过使用大小为 $50\text{nm}\phi$ 的存储元件评估热稳定性。

[0218] 在 Co-Fe 合金组成中,CoFe 中组成比 x (原子%) 分别变为 90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%和 0%。除元件大小之外的样品细节基本上与实验 1 中的相同。

[0219] 在存储元件 3 的大小为 $50\text{nm}\phi$ 的情况下,Co-Fe 合金中 Co 量 (CoFe 中的含量;原子%) 和热稳定性的指标 Δ (kV/ $k_B T$) 之间的关系如图 5 所示。

[0220] 从图 5 中可以看出,当元件大小为 $50\text{nm}\phi$ 时,热稳定性指标 Δ 的 Co-Fe 合金组成依赖性从在图 4 所示的在短轴为 $0.09\mu\text{m}$ × 长轴为 $0.18\mu\text{m}$ 椭圆存储元件中获得的 Δ 的 Co-Fe 合金组成依赖性有显著变化。

[0221] 根据图 5,仅在 Co-Fe 合金组成中 Co 为 40%或更少、也就是 Fe 为 60%或更多的情况下保持高热稳定性。

[0222] 作为各种检测的结果,清楚地揭示出包含 60%或更多的 Fe 的 Co-Fe 合金在极小的存储元件中表现出高热稳定性 Δ 的原因在于 Co-Fe 合金的磁化朝向与膜表面垂直的方向 (将在不存在外部磁场的情况下磁化稳定的方向称为“易(磁化)轴方向”,并可以通过测量存储元件电阻的外部磁场依赖性并比较此时在面内方向和垂直方向之间的磁场方向进行调查)。

[0223] Fe-Co 合金的磁化朝向垂直于膜表面的方向的原因被认为是由于饱和磁化量 M_s 显著小于有效反磁场 $M_{\text{effective}}$ 的组成。

[0224] 此外,即使在垂直磁化型的极小元件的情况下也可确保热稳定性的原因涉及公式(2)中的 H_k (有效的各向异性磁场),并且垂直磁化膜的 H_k 值显著大于面内磁化膜的 H_k 值。也就是,在垂直型磁化膜中,由于大 H_k 的效应,即使在面内磁化膜不能确保充分的热稳定性 Δ 的极小元件中,也可以保持高的热稳定性 Δ 。

[0225] 根据上述实验结果,对于Co-Fe合金,在Fe的量为60%或更多的情况下,适合用于G比特级的ST-MRAM。

[0226] 实验4

[0227] 关于在上述实验3中由组成公式 Co_xFe_{100-x} 表示的Co-Fe合金,可以看出,在Co量 x 为40%或更少的情况下,适合用于G比特级的ST-MRAM。

[0228] 因此,在实验4中,将B(硼)添加到Co-Fe合金中以调查不同种类元素的添加效果,并制造包括具有组成 $(Co_{30}Fe_{70})_{92}B_8$ 存储层17并且大小为 $50nm\phi$ 的存储元件,然后评估热稳定性。除元件大小和组成之外的样品细节与实验1中的基本上相同。

[0229] 关于 $(Co_{30}Fe_{70})_{92}B_8$,热稳定性指标 Δ 的值为42。此外,清楚的是,存储元件的磁化朝向垂直于膜表面的方向。

[0230] 根据上述结果很清楚的是,即使加入8原子%的硼,热稳定性仍主要由Co和Fe的组成确定,认为这是由于易磁化轴与膜表面垂直。

[0231] 因此,认为加入不同种类元素不会妨碍通过调整Co-Fe合金组成以将Co量设置为40%或更小来提高存储元件的热稳定性的配置。也就是,为了产生高隧道磁阻效应、为了通过界面的平坦化提高绝缘击穿电压等,可以添加诸如硼的添加元素。

[0232] 在上文中,描述了实施方式,但是在本发明中,在上述各个实施方式中描述的存储元件3和53的膜配置不局限于此,而可以采用各种膜配置。

[0233] 例如,在实施方式中,磁化固定层15由CoFeB形成,但是本发明并不限于此,只要不脱离本文公开的范围,可以为各种不同的配置。

[0234] 此外,在实施方式中,给出单一底层、单一顶材料以及单一形状的存储元件,但是本发明并不限于此,只要不脱离本文公开的范围,可以为各种不同的配置。

[0235] 此外,在实施方式中,磁化固定层15由单层形成,但是可使用包括两个铁磁性层和非磁性层的层压铁钉结构。此外,该配置可以是将反铁磁性膜应用于层压铁钉结构膜的配置。

[0236] 此外,存储元件的膜配置可以是将存储层设置在磁化固定层的上侧或其下侧的配置,并且在任意放置中都没有问题。此外,将磁化固定层分别设置在存储层的上侧和下侧的结构(所谓的双元结构)也没有问题。

[0237] 本发明包括于2010年9月2日向日本专利局递交的日本在先专利申请JP 2010-196418涉及的主题,其全部内容结合于此作为参考。

[0238] 本领域的普通技术人员应当理解,根据设计要求和因素,可以进行各种变形、组合、子组合以及改变,只要它们在所附权利要求书的范围内或其等同替换的范围内。

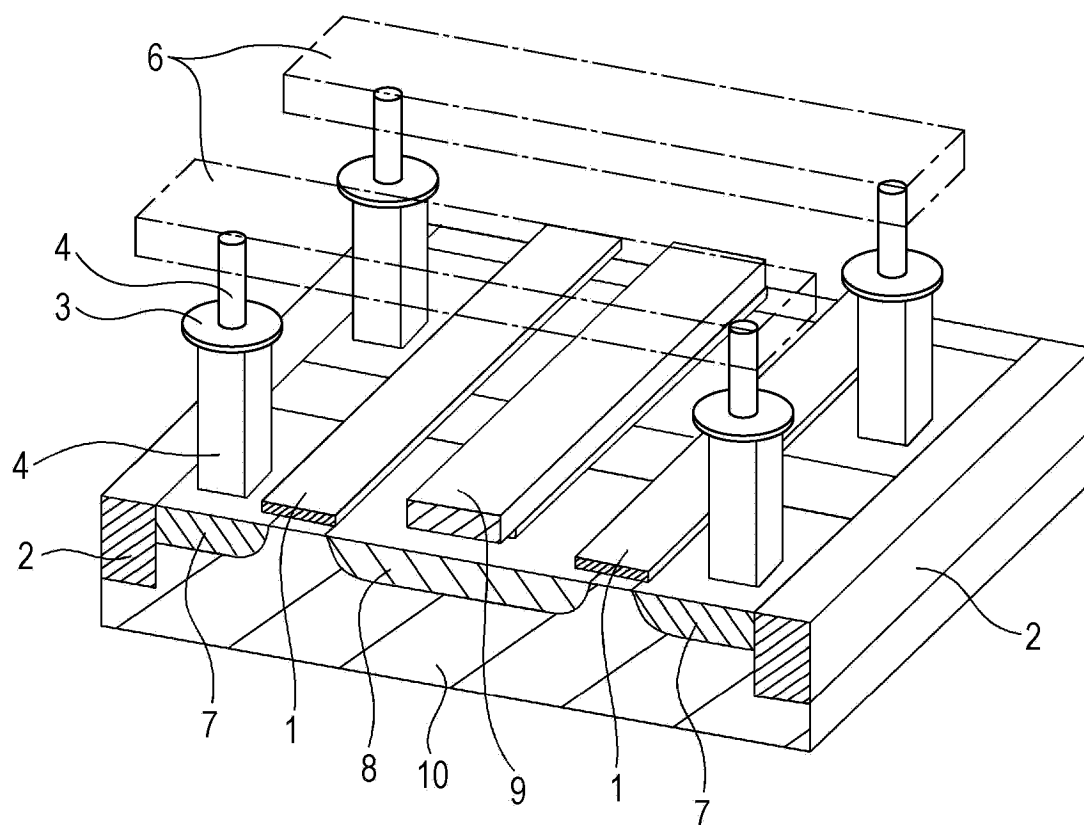


图 1

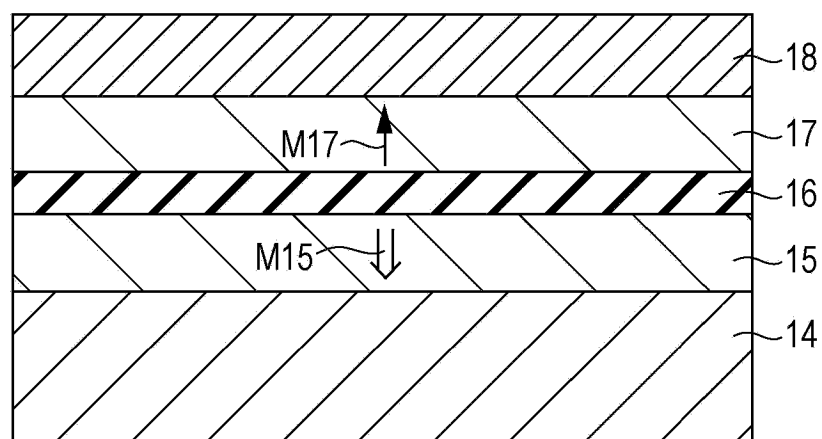
3

图 2

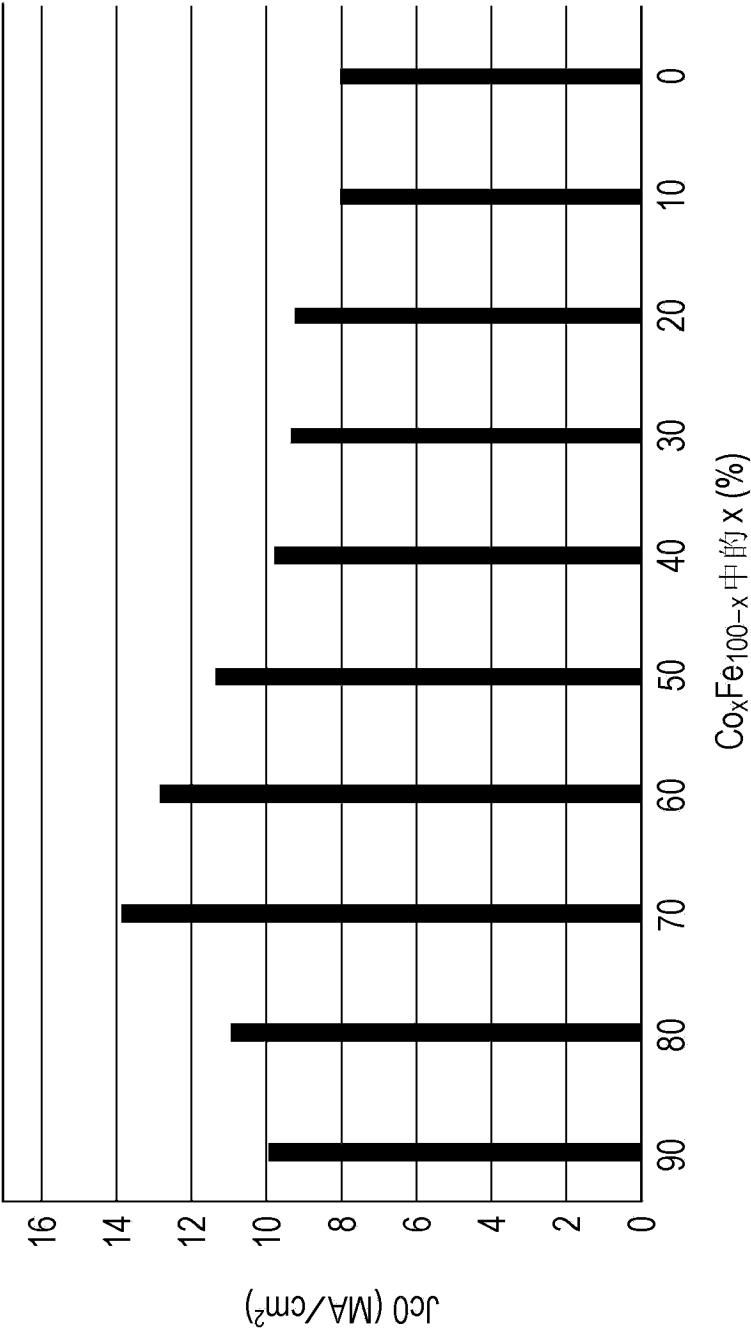


图 3

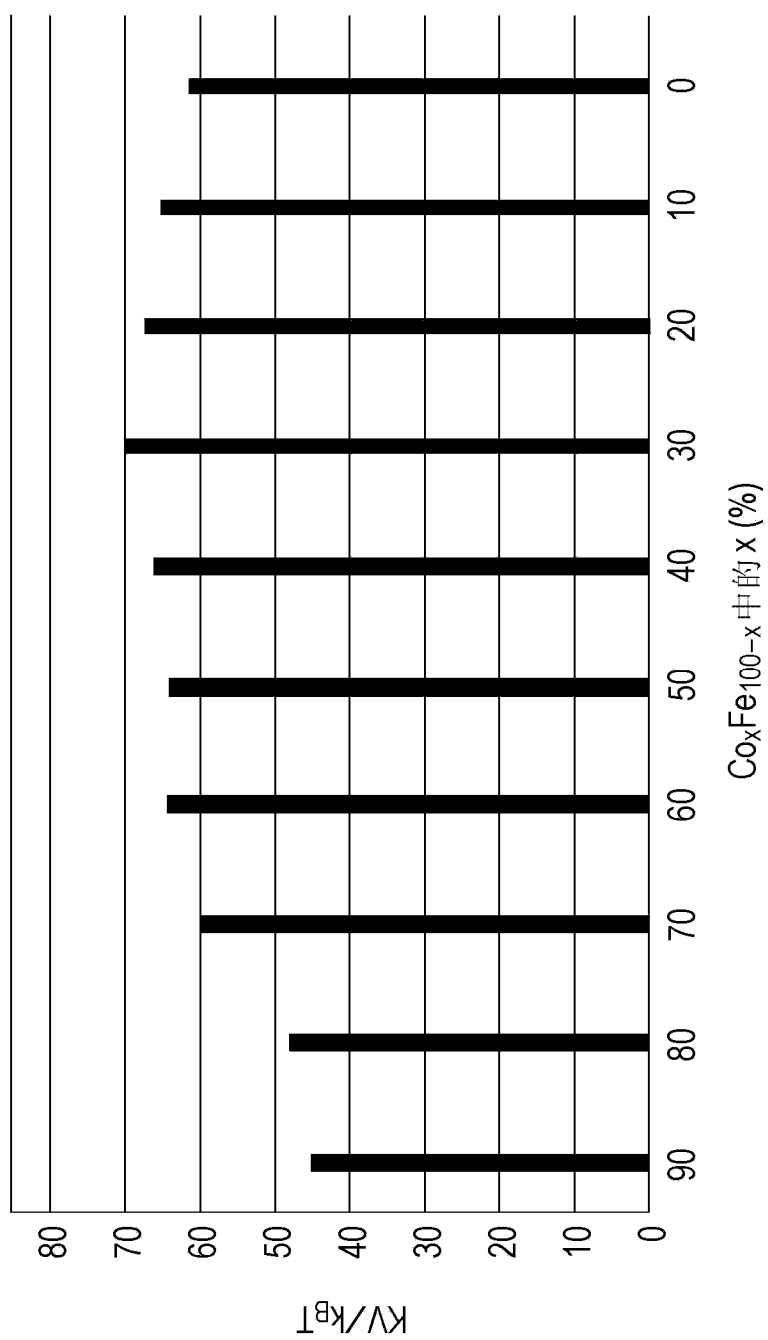


图 4

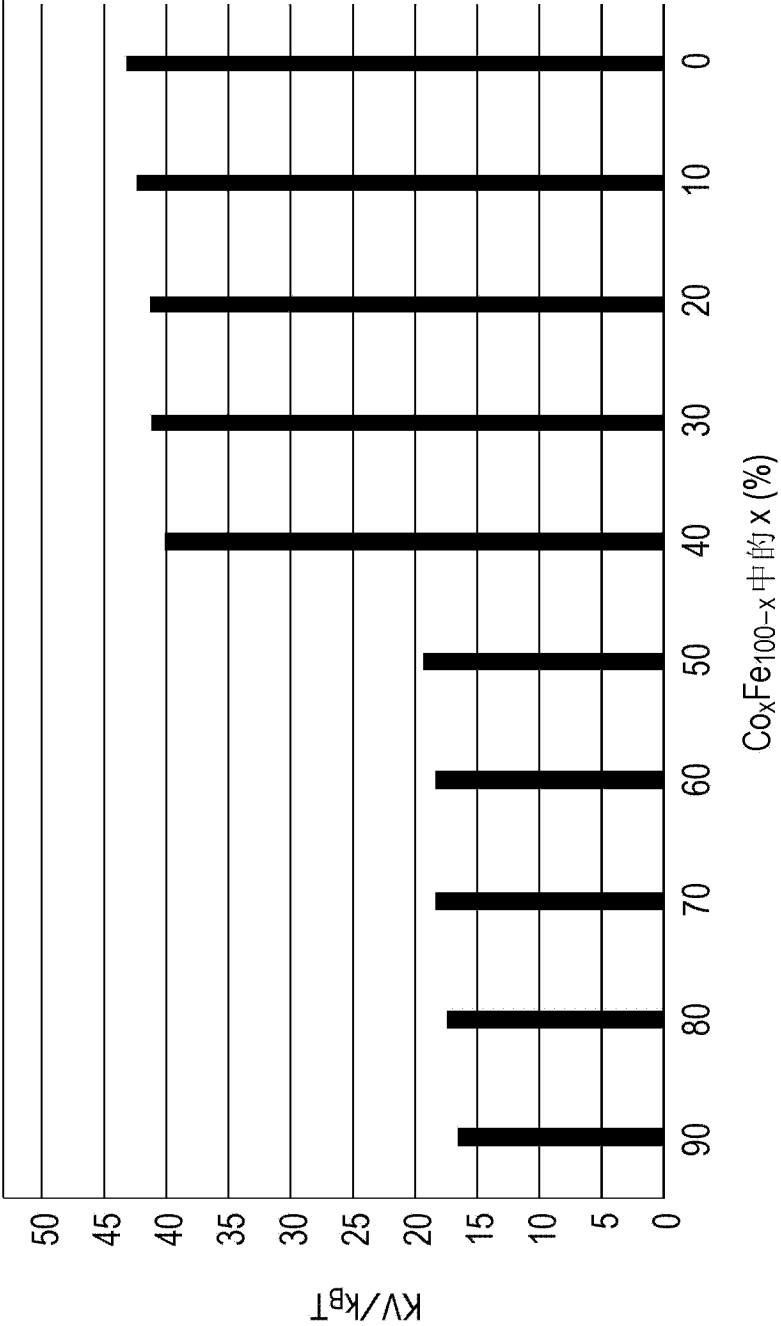


图 5

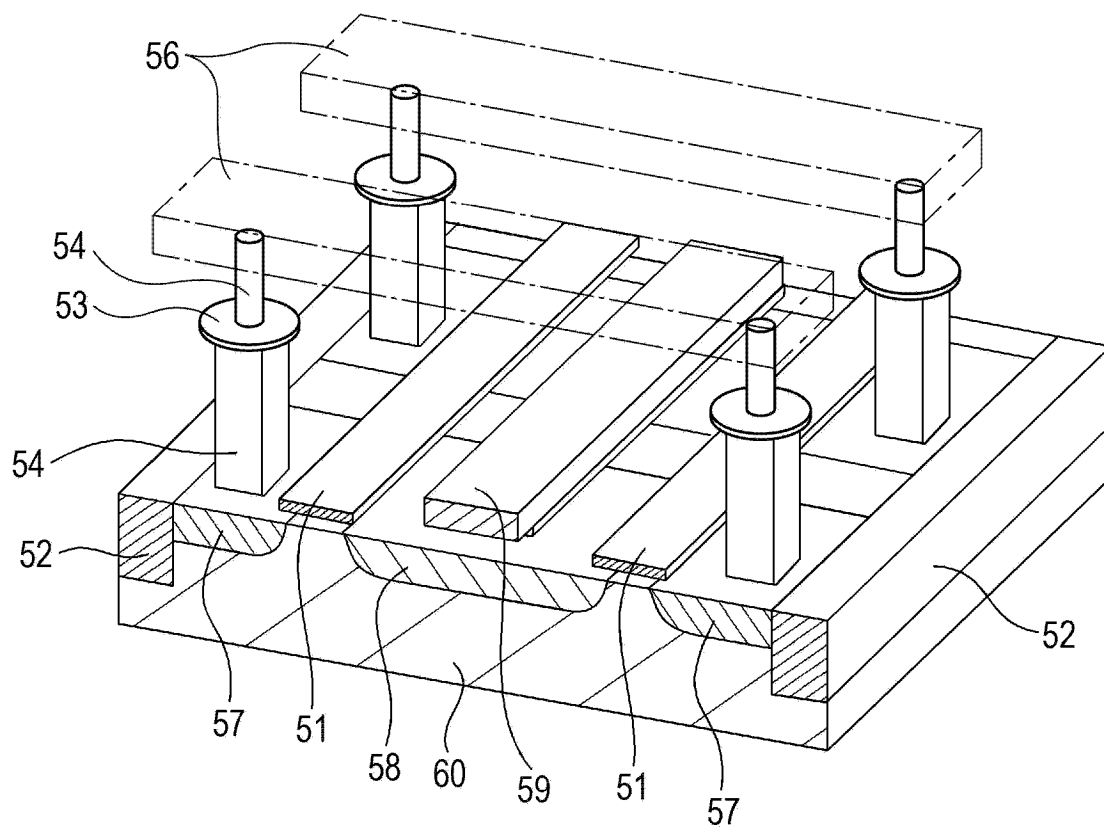


图 6

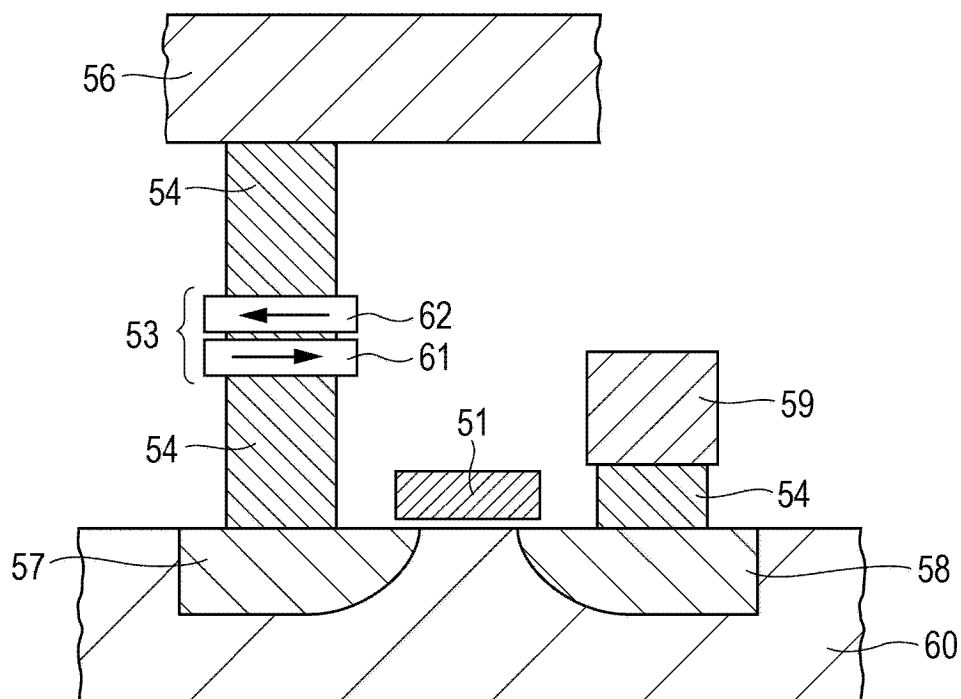


图 7