



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101202325 B

(45) 授权公告日 2010.06.09

(21) 申请号 200710198739.8

(22) 申请日 2007.12.12

(30) 优先权数据

2006-335016 2006.12.12 JP

(73) 专利权人 索尼株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 肥后丰 细见政功 大森广之

山元哲也 山根一阳 大石雄纪

鹿野博司

(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)

H01L 27/22(2006.01)

H01F 10/32(2006.01)

G11C 11/16(2006.01)

G11C 11/15(2006.01)

(56) 对比文件

JP 特开 2006-295001 A, 2006.10.26, 说明书第 [0089] 段、附图 2.

US 2002/0048128 A1, 2002.04.25, 说明书第 [0196]-[0210] 段、附图 21, 29、权利要求 8-9.

说明书第 [0196]-[0210] 段、附图 21, 29、权利要求 8-9.

US 6233172 B1, 2001.05.15, 全文.

US 20030123197 A1, 2003.07.03, 说明书第 [0023]-[0025]、附图 1-2.

US 2006/0003185 A1, 2006.01.05, 全文.

审查员 赵敏

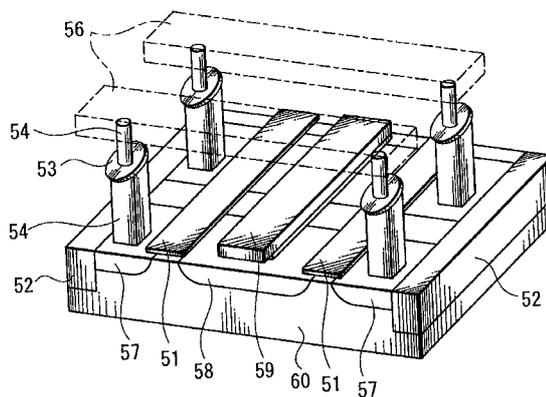
权利要求书 1 页 说明书 15 页 附图 5 页

(54) 发明名称

存储元件和存储器

(57) 摘要

本发明提供了一种存储元件和存储器,其中,存储元件包括存储层、磁化固定层、自旋阻挡层、和自旋吸收层。存储层基于磁性材料的磁化状态来存储信息。通过隧道绝缘层对存储层设置磁化固定层。自旋阻挡层抑制自旋极化电子的扩散,并被设置在存储层与磁化固定层相对的一侧上。自旋吸收层由引起自旋抽运现象的非磁性金属层形成,并被设置在自旋阻挡层与存储层相对的一侧上。通过使电流沿层压方向流动注入自旋极化电子来改变存储层中的磁化方向,从而将信息记录在存储层中,并且自旋阻挡层包括从氧化物、氮化物、氟化物中选出的至少一种材料。



1. 一种存储元件,包括:

存储层,基于磁性材料的磁化状态来存储信息;

通过隧道绝缘层对所述存储层设置的磁化固定层,其中,所述隧道绝缘层位于所述磁化固定层与所述存储层之间;

自旋阻挡层,抑制自旋极化电子的扩散,并被设置在所述存储层与所述磁化固定层相对的一侧上;以及

自旋吸收层,由引起自旋抽运现象的非磁性金属层形成,并被设置在所述自旋阻挡层与所述存储层相对的一侧上,其中,

通过使电流沿层压方向流动注入所述自旋极化电子来改变所述存储层中的磁化方向,从而将信息记录在所述存储层中,以及

所述自旋阻挡层包括从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的一种或多种材料,

其中,所述自旋吸收层的厚度大于形成所述自旋吸收层的材料的自旋扩散长度。

2. 根据权利要求 1 所述的存储元件,其中,

所述存储层包括通过非磁性层层压的多个铁磁层。

3. 根据权利要求 2 所述的存储元件,其中,

形成所述存储层的所述铁磁层包括作为主要成分的 CoFeB;形成所述存储层的所述非磁性层包括从 Ti、Ta、Nb、和 Cr 中选出的至少一种非磁性元素;以及所述存储层中的所述非磁性元素的含量在 1 原子%以上和 20 原子%以下。

4. 根据权利要求 1 所述的存储元件,其中,

所述隧道绝缘层包括氧化镁。

5. 根据权利要求 1 所述的存储元件,其中,

所述隧道绝缘层和所述自旋阻挡层包括氧化镁。

6. 根据权利要求 1 所述的存储元件,其中,

所述自旋吸收层包括从 Pt、Ru、Pd、和 Au 中选出的至少一种元素。

7. 一种存储器,包括:

存储元件,具有基于磁性材料的磁化状态来存储信息的存储层;以及

彼此相交的两种配线,

其中,所述存储元件包括:通过隧道绝缘层对所述存储层设置的磁化固定层,其中,所述隧道绝缘层位于所述磁化固定层与所述存储层之间;自旋阻挡层,抑制自旋极化电子的扩散,并被设置在所述存储层与所述磁化固定层相对的一侧上;自旋吸收层,由引起自旋抽运现象的非磁性金属层形成,并被设置在所述自旋阻挡层与所述存储层相对的一侧上;其中,通过使电流沿层压方向流动注入自旋极化电子来改变所述存储层中的磁化方向,从而将信息记录在所述存储层,以及其中,所述自旋阻挡层包括从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的一种或多种材料,以及

其中,所述存储元件被放置在所述两种配线的交点附近和所述两种配线之间,并且电流沿所述存储元件的所述层压方向流过所述两种配线,从而注入自旋极化电子,

其中,所述自旋吸收层的厚度大于形成所述自旋吸收层的材料的自旋扩散长度。

存储元件和存储器

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本发明包含于 2006 年 12 月 12 日向日本专利局提交的日本专利申请 JP 2006-335016 的主题,其全部内容结合于此作为参考。

技术领域

[0003] 本发明涉及一种存储元件,该存储元件包括:存储层,其中,存储了作为信息的铁磁层的磁化状态;以及磁化方向固定的磁化固定层,其中,可以通过沿与膜的平面垂直的方向施加电流注入自旋极化电子来改变存储层的磁化方向。本发明还涉及一种包括这种存储元件的存储器,并且可适用于非易失性存储器。

背景技术

[0004] 高速和高密度的 DRAM 已广泛用作诸如计算机的信息设备中的随机存取存储器。

[0005] 然而,由于 DRAM 是在电源断开时会删除信息的易失性存储器,所以需要在电源断开时能够保持信息的非易失性存储器。

[0006] 作为这种非易失性存储器,利用磁性材料的磁化来记录信息的磁性随机存取存储器(MRAM)正逐渐引起关注,并且当前正在发展。

[0007] 在 MRAM 中,电流流过基本上垂直的两种地址配线(字线和位线),并且通过用由地址配线生成的电流感应磁场反转在地址配线的交点处的磁性存储元件的磁性层中的磁化来记录信息。当读取信息时,利用磁阻效应(MR 效应),其中,阻抗根据磁性存储元件的存储层中的磁化方向而改变。

[0008] 图 1 示出了典型 MRAM 器件的示意(透视)图。

[0009] 在由硅衬底或其它半导体衬底 110 中的元件隔离层 102 隔离的部分中形成漏极区 108、源极区 107、和栅电极 101,它们形成了用于选择各个存储单元的选择晶体管。在栅电极 101 上设置沿图中的前后方向延伸的字线 105。

[0010] 漏极区 108 经过形成能够被图中的左和右选择晶体管所共享。导线 109 连接至漏极区 108。

[0011] 在字线 105 和位线 106(置于字线 105 之上并沿图中的左右方向延伸)之间,放置具有磁性层的磁存储元件 103(其磁化方向被反转)。例如,这些磁存储元件 103 包括磁隧道结(MTJ)元件。此外,磁存储元件 103 通过水平方向的旁路线 111 和垂直方向的接触层 104 电连接至源极区 107。通过使电流流过字线 105 和位线 106,向磁存储元件 103 施加电流感应磁场,从而使磁存储元件 103 的存储层中的磁化方向反转并能够记录信息。

[0012] 在 MRAM 和其他磁性存储器中,为了稳定存储所记录的信息,记录了信息的磁性层(存储层)可能必需具有恒定的抗磁力。另一方面,为了重写所记录的信息,可能需要一定量的电流流过地址配线。然而,由于形成 MRAM 的元件较精细,所以地址配线也较窄,从而很难使非常大的电流通过。

[0013] 因此,为了利用小电流来反转磁化,被配置为使用由自旋注入引起的磁化反转的

存储器逐渐引起关注（例如，参见第 2003-17782 号日本未审查专利申请公开）。由自旋注入引起的磁化反转包括使通过磁性材料的自旋极化电子注入另一种磁性材料，从而在另一种磁性材料上产生转矩并引起了磁化反转。

[0014] 例如，通过使电流沿与巨磁阻 (GMR) 元件或磁性隧道结 (MTJ) 元件的膜平面垂直的方向流过，可以使这些元件中的至少一部分磁性层中的磁化方向反转。

[0015] 此外，由自旋注入引起的磁化反转具有以下这种优点：即使元件很小，在不增大电流的情况下仍不会影响磁化反转。

[0016] 图 2 和图 3 是如上所述的被配置为使用由自旋注入引起的磁化反转的存储器的示意图。图 2 是透视图，以及图 3 是截面图。

[0017] 形成了用于选择存储单元的选择晶体管的漏极区 58、源极区 57、和栅电极 51 中的每个均形成在通过硅衬底或其他半导体衬底 60 的元件分离层 52 分离的部分中。栅电极 51 还用作沿图 2 中的前后方向延伸的字线。

[0018] 漏极区 58 经过形成能够被图中的右和左选择晶体管共享。导线 59 连接至这些漏极区 58。

[0019] 此外，具有存储层（通过自旋注入来使其磁化方向反转）的存储元件 53 置于源极区 57 和置于源极区 57 上并沿图 2 的左右方向延伸的位线 56 之间。

[0020] 例如，这种存储元件 53 包括磁性隧道结 (MTJ) 元件。如图所示，设置了磁性层 61 和 62。磁性层 61 和 62 中的一个为磁化方向固定的磁化固定层，而另一个磁性层是磁化方向改变的自由磁化层，即，存储层。

[0021] 存储元件 53 通过垂直接触层 54 连接至位线 56 和源极区 57。因此，电流流过存储元件 53，从而通过自旋注入使存储层中的磁化方向反转。

[0022] 与图 1 所示的典型 MRAM 相比，被配置为利用由自旋注入引起的磁化反转的存储器具有能够使装置结构简化的特征。

[0023] 此外，与通过外部磁场影响磁化反转的典型 MRAM 相比，当利用通过自旋注入引起的磁化反转时，优点在于即使元件尺寸减小，写入电流仍不会增大。

[0024] 在 MRAM 的情况下，写配线（字线和位线）被设置成与存储元件相分离，并且通过使电流流过写配线生成电流感应磁场来写入（记录）信息。因此，可以使用于进行写操作的非常大的电流流过写配线。

[0025] 另一方面，在被配置为使用通过自旋注入引起的磁化反转的存储器中，可能必须通过使电流流过存储元件来进行自旋注入，从而才能使存储层中的磁化方向反转。

[0026] 由于通过使电流如上所述直接流过存储元件来写入（记录）信息，所以存储元件连接至选择晶体管，以便可以选择用于进行写入的存储单元。此处，流过存储元件的电流并不限于可以流过选择晶体管的电流（选择晶体管的饱和电流）。

[0027] 因此，可能需要利用等于或小于选择晶体管的饱和电流来写入信息。因此，可能需要提高自旋注入的效率，以便能够减小流过存储元件的电流。

[0028] 此外，为了获取大读取信号，可能需要确保磁阻变化率很大。因此，有效提供了一种存储元件，其中，绝缘层（隧道阻挡层）用作与存储层的两面都接触的中间层。

[0029] 当将隧道绝缘层用作如上所述的中间层时，可能需要限制流过存储元件的电流，从而防止隧道绝缘层的介质击穿。因此，可能必须控制自旋注入期间的电流。

[0030] 因此,被配置为通过自旋注入反转存储层的磁化方向的存储元件可能需要提高自旋注入效率并减小所需电流。

发明内容

[0031] 当铁磁材料中的磁化方向随时间改变时,阻止改变的动作可以对铁磁材料的磁化起作用。

[0032] 通过吉尔伯特 (Gilbert) 阻尼常数来表示这个动作的幅度。

[0033] 当通过自旋注入反转存储层中的磁化方向时,可能需要对存储层施加超过这种动作的大转矩。

[0034] 即,当吉尔伯特阻尼常数很大时,可能需要相应大的电流流过存储层。

[0035] 然而,只有铁磁材料也不能确定吉尔伯特阻尼常数,而是该值可以根据相邻层的状态而增大。

[0036] 当电流流过与铁磁材料相邻的金属层时,以及当铁磁材料的磁化运转 (in motion) 时,自旋电流在相邻金属层中流动。

[0037] 当自旋电流由于金属层中的自旋扩散而消失时,以反作用 (inreaction) 抑制了铁磁材料中的磁化运动,即,吉尔伯特阻尼常数增大。

[0038] 这种现象称为自旋抽运 (spin pumping)。

[0039] 例如,在 Phys. Rev. B, 66, 104413 (2002), 和 Jpn. J. Appl. Phys., 40, 580 (2001) 中,用实验详细证实了自旋抽运现象。

[0040] 因而,在通过自旋注入反转磁化方向的存储元件中,吉尔伯特阻尼常数可视与存储层相邻的金属层而增大,因此,磁化反转所需的电流 (反转电流) 可能增大。

[0041] 此外,需要尽可能地减小存储层的元件尺寸及其饱和磁化来减小反转电流。

[0042] 然而,如果存储层的元件尺寸和饱和磁化很小,则存储元件的热稳定性降低,并且操作可能变得不稳定。

[0043] 需要提供一种具有足够热稳定性并可以抑制出现自旋抽运存储元件、以及一种具有这样存储元件的存储器。

[0044] 根据本发明的实施例,提供了一种存储元件,其包括存储层、磁化固定层、自旋阻挡层、和自旋吸收层。存储层基于磁性材料的磁化状态来存储信息。通过隧道绝缘层对存储层设置磁化固定层,其中,隧道绝缘层位于磁化固定层与存储层之间。自旋阻挡层抑制自旋极化电子的扩散,并被设置在存储层与磁化固定层相对的一侧上。自旋吸收层包括引起自旋抽运现象的非磁性金属层,并被设置在自旋阻挡层与存储层相对的一侧上。通过使电流沿层压方向流动注入自旋极化电子来改变存储层中的磁化方向,从而将信息记录在存储层中。自旋阻挡层包括从氧化物、氮化物、氟化物中选出的至少一种材料。

[0045] 根据本发明的实施例,提供了一种存储器,其包括:存储元件,具有基于磁性材料的磁化状态来存储信息的存储层;以及彼此相交的两种配线。该存储元件具有根据本发明实施例的上述存储元件的配置。存储元件被放置在两种配线的交点附近,放置在两种配线之间。电流在存储元件中沿层压方向流过两种配线,并注入自旋极化电子。

[0046] 根据本发明的实施例的存储元件具有基于磁性材料的磁化状态来存储信息的存储层。通过隧道绝缘层对存储层设置磁化固定层,其中,隧道绝缘层位于磁化固定层与存储

层之间。通过使电流沿层压方向流过以注入自旋极化电子来改变存储层中的磁化方向，从而将信息记录在存储层中。因此，可以通过使电流沿层压方向流过并注入自旋极化电子来记录信息。

[0047] 此外，抑制自旋抽运现象的自旋阻挡层被设置在存储层与磁化固定层相对的一侧上，并包括从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的一种或多种材料，以便自旋阻挡层可以抑制自旋抽运现象的出现。因此，可以减小用于使存储层的磁化反转的电流，并且可以提高自旋注入的效率。此外，可以通过设置自旋阻挡层来提高存储层的热稳定性，以便能够稳定存储被记录在存储层中的信息。此外，由于由引起自旋抽运现象的非磁性金属层形成的自旋吸收层被设置在自旋阻挡层与存储层相对的一侧上，所以，与仅设置自旋阻挡层的配置相比，能够进一步减小用于使存储层的磁化反转的电流，从而能够提高自旋注入效率。

[0048] 根据本发明实施例的存储器具有：存储元件，具有基于磁性材料的磁化状态来存储信息的存储层；以及彼此相交的两种配线。存储元件具有根据本发明实施例的上述存储元件的配置。存储元件被放置在两种配线的交点附近，放置在两种配线之间。电流在存储元件中沿层压方向流过两种配线，并注入自旋极化电子，从而电流沿存储元件的层压方向流过两种配线，并可通过自旋注入记录信息。

[0049] 利用自旋注入，可以减小用于使存储元件的磁化方向反转的电流量（阈值电流）。

[0050] 此外，可以稳定存储被记录在存储元件的存储层中的信息。

[0051] 根据本发明的实施例，可以提高自旋注入效率，从而能够减小信息记录所需的电流量。

[0052] 因此，可以降低整个存储器的功耗。

[0053] 因此，可以获得具有比过去的典型存储器的功耗更低功耗的存储器。

[0054] 此外，由于存储元件中的存储层具有足够的热稳定性，所以存储元件具有良好的信息保留特性。

[0055] 此外，由于可以减小信息记录所需的电流，所以能够放大用于使电流流动以及记录信息的操作区域，并且能够确保较大的操作区域边界。因此，可以获得稳定运转并高度可靠的存储器。

附图说明

[0056] 图 1 是图解示出了现有技术的 MRAM 的配置的透视图。

[0057] 图 2 是示出了利用通过自旋注入进行磁化反转的存储器的结构的示意（透视）图。

[0058] 图 3 是图 2 中的存储器的截面图。

[0059] 图 4 是示出了根据本发明实施例的存储器的配置的示意（透视）图。

[0060] 图 5 是图 4 中的存储元件的截面图。

[0061] 图 6 是示出了表示本发明实施例的比较实例的存储元件的配置的示意图。

[0062] 图 7 是示出了表示本发明实施例的另一比较实例的存储元件的配置的示意图。

[0063] 图 8 是示出了表示本发明的实施例的另一比较实例的存储元件的配置的示意图。

[0064] 图 9 示出了测量反转电流 I_{c0} 和热稳定性指数 Δ 的方法。

具体实施方式

[0065] 在描述本发明的特定实施例之前,描述本发明的概述。

[0066] 根据本发明的实施例,通过上述自旋注入来使存储元件的存储层中的磁化方向反转,从而记录信息。存储层包括铁磁层或其他磁性材料,并基于磁性材料的磁化状态(磁化方向)来存储信息。

[0067] 在通过自旋注入来使磁性层中的磁化方向反转的基本操作中,在与膜平面垂直的方向上,等于或大于某一阈值的电流流过由巨磁阻效应(GMR)元件或磁性隧道结(MTJ)元件形成的存储元件。此时,电流的极化(方向)取决于所反转的磁化的方向。

[0068] 如果绝对值小于阈值的电流流过,则不会发生磁化反转。

[0069] 根据本发明的实施例,考虑到如上所述的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的磁性隧道结(MTJ)元件经过形成被作为存储层和磁化固定层之间的非磁性中间层。

[0070] 与使用非磁性导电层形成巨磁阻效应(GMR)元件的情况相比,通过使用隧道绝缘层形成磁性隧道结(MTJ),可以使磁阻变化率(MR比)可以大,并且可以增大所读取的信号强度。

[0071] 当自旋注入用于使磁性层中的磁化方向反转时,所需电流的特征通过以下的公式[1]来表示(例如,参看F. J. Albert等人的Appl. Phys. Lett., 77, p. 3809, 2000等)。

[0072] 公式[1]

$$[0073] \quad \frac{\eta I_{c0} \tau_1}{e} = \frac{M_s V}{\mu_B}$$

$$[0074] \quad \tau_1 = 1 / \alpha \gamma (H_c + \frac{1}{2} H_d)$$

[0075] 在公式[1]中, I_{c0} 等于绝对零度时用于开始通过自旋注入引起的惯性运动(precessional motion)的磁性层中的磁化的电流值。在相对项中,该值确定反转电流的实际大小。

[0076] 为了确保存储元件的操作边界很宽并使存储元件稳定操作,可能需要很小的 I_{c0} 。

[0077] 利用小 I_{c0} ,可以降低存储元件的功耗和整个存储器的功耗。

[0078] 此外,利用小 I_{c0} ,能够使用具有低饱和电流值(即,具有小栅极宽度)的选择晶体管,从而可以制造小存储单元,并且可以进一步集成存储器。因此,可以减小存储器的尺寸,并且可以增大存储容量。

[0079] 在上述的公式[1]中,吉尔伯特阻尼常数 α 和 I_{c0} 成比例。

[0080] 即,当通过上述自旋抽运现象增大吉尔伯特阻尼常数 α 时, I_{c0} 同时增大。

[0081] 由于上述事实可能对确保宽操作边界其反作用,因此必需在实际的存储元件中控制自旋抽运现象,以使 I_{c0} 不会增大。参考公式[1],可以通过降低饱和磁化 M_s 和存储层的体积 V 来减小 I_{c0} 。

[0082] 为了存储记录在存储元件中的信息,需要使存储层的热稳定性的指数(参数) Δ 维持在某一常数数值处或以上。通常,优选地,热稳定性的指数 Δ 为 60 以上,以及更优选地,为 70 以上。

[0083] 通过以下公式来表示热稳定性的指数 Δ 。

$$[0084] \quad \Delta = M_s \cdot V \cdot H_c \cdot (1/2kT) \quad (1)$$

[0085] 此处, k 为玻尔兹曼常数, 以及 T 为温度。

[0086] 从以上的公式 (1) 看出, 如果减小饱和磁化 M_s 和体积 V , 则热稳定性指数 Δ 降低。

[0087] 因而, I_{c0} 的减小和 Δ 的增大之间存在一种平衡, 因此需要配置存储元件来满足两侧的需要。

[0088] 当使用 MTJ 元件、GMR 元件、或另一个磁阻效应元件形成存储元件时, 通常在存储层与磁化固定层相对的一侧上连接电极层或其他非磁性金属层, 以使电流流过存储元件。

[0089] 例如, 这种非磁性金属层可以是下电极层、上电极层、金属底层 (underlayer)、保护层 (cap layer) 等。

[0090] 如果这种非磁性金属层与存储层直接连接, 则非磁性金属层的构成元素在分界面处通过扩散而扩散到存储层的铁磁材料中。然后, 可以形成特性退化区域, 在该区域中, 存储层的铁磁材料的正常特性被退化。具体地, 与存储层相比, 将上述下电极层、上电极层、金属底层、保护层等形成为很厚 (膜厚度是存储层的厚度的两倍至几倍), 以便可以使大量的非磁性金属元素扩散。

[0091] 当在存储层中出现这种特性退化区域时, 削弱了作为磁性材料的存储层的特性, 并且降低了 MR 比、 M_s 等。

[0092] 当 MR 比、 M_s 等因此而降低时, 很难读取记录在存储元件中的信息, 或者可以减小存储层的热稳定性指数 Δ , 从而使存储元件的热稳定性减弱, 这是存储元件不期望出现的现象。

[0093] 因此, 需要在存储层中不存在由于存储层和非磁性金属层之间的扩散而出现的特性退化区域。

[0094] 作为各种研究的结果, 需要获得如下所述的存储层的铁磁材料的特性。具体地, 如果用以抑制自旋极化电子的扩散的自旋阻挡层被设置在存储层与磁化固定层相对的一侧上并使存储层和非磁性金属层隔开, 则可以抑制上述的自旋抽运现象。因此, 可以提高自旋注入的效率。另外, 可以抑制上述特性退化区域的出现。

[0095] 此外, 可以通过在自旋阻挡层与存储层相对的一侧上设置由引起自旋抽运现象的非磁性金属层形成的自旋吸收层来进一步减小 I_{c0} 。

[0096] 因此, 根据本发明的实施例, 通过在与磁化固定层相对的存储层的一侧上设置用于抑制自旋极化电子的扩散的自旋阻挡层来配置存储元件。此外, 存储元件包括由引起自旋抽运现象的非磁性金属层形成的被设置在与存储层相对的自旋阻挡层的侧上的自旋吸收层。

[0097] 此外, 根据本发明的实施例, 自旋阻挡层包括从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的的一种或多种材料。

[0098] 即, 自旋阻挡层包括从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的的一种或多种的材料, 或者包括的从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的的一种或多种添加有少量其他元素 (例如, 金属元素等) 的材料作为主要成分。

[0099] 因而, 通过由从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的的一种或多种材料形成自旋阻挡层, 使自旋阻挡层基本上绝缘。

[0100] 具体地,例如,可使用氧化镁、氧化铝、氮化铝、和使用对氧化物或氮化物具有强亲和力的元素(例如,镁或铝)的其他化合物。

[0101] 除此以外,还可以使用各种其他材料(例如, SiO_2 、 Bi_2O_3 、 MgF_2 、 ZnO 、 Ta_2O_5 、 CaF_2 、 SrTiO_2 、 AlLaO_3 、 Al-N-O 等)。

[0102] 同样,还可以使用与存储层和磁化固定层之间的隧道绝缘层相同的材料来形成自旋阻挡层。

[0103] 因而,如果经设置使自旋阻挡层(抑制自旋极化电子的扩散)接触在磁化固定层相反侧上的存储层,则可以抑制上述自旋抽运现象,并可以提高自旋注入的效率。

[0104] 此外,由于可以通过基本绝缘的自旋阻挡层来抑制由于存储层和非磁性金属层之间的扩散而引起的特性退化区域的出现,所以可以获得存储层的铁磁材料的所需特性。

[0105] 因此,可以抑制由于特性退化区域而引起的 MR 比的降低,并可以提高读取输出。因此,例如,可以设计表示相对最大的自旋注入效率的薄存储层。也就是说,在 MR 比或其他特性不退化的情况下,可以提高自旋注入效率并可以减小 I_{c0} 。

[0106] 此外,由于可以抑制特性退化区域的出现,所以可以一定程度减小存储层的厚度。

[0107] 由于氧化镁(MgO)特别被用作隧道绝缘层的材料,所以可以使磁阻变化率(MR 比)大于在通常已采用氧化铝情况下的磁阻变化率。

[0108] 通常,自旋注入效率取决于 MR 比,并且 MR 比越大,自旋注入效率 η 提高的越大,从而可以减小磁化反转电流密度。

[0109] 因此,当氧化镁用作构成中间层的隧道绝缘层的材料时,可以减小自旋注入引起的写阈值电流,并且可以使用小电流来写(记录)信息。此外,可以增大所读信号强度。

[0110] 因此,可以确保足够的 MR 比(TMR 比),从而可以减小自旋注入引起的写阈值电流,并且可以使用小电流来写(记录)信息。此外,可以增大读信号强度。

[0111] 当由氧化镁膜形成隧道绝缘层时,需要使 MgO 结晶,并且晶体取向维持在 001 方向。

[0112] 当将氧化镁用作隧道绝缘层时,通常, 300°C 以上,更期望地, 340°C 到 380°C 的高退火温度可以用于获得良好的 MR 特性。这个温度高于现有技术中已用作中间层的氧化铝的情况下所使用的退火温度的范围(250°C 到 280°C)。

[0113] 这是因为可能需要高温来形成具有适当内部结构和结晶结构的氧化镁。

[0114] 如果将对高温退火不具有耐热性的铁磁材料用作存储元件的铁磁层,则不能获得良好的 MR 特性。然而,根据本发明的实施例,由于通过设置自旋阻挡层抑制了形成存储层的铁磁层中的扩散,所以提高了存储层的耐热性。因此,在 340°C 到 400°C 的退火过程中,存储层的磁特性可能不会退化。

[0115] 此外,为了使足够的写电流流过存储元件,需要小的隧道绝缘层(隧道阻挡层)的薄层电阻值(sheet resistance value)。

[0116] 考虑到获得电流密度以通过自旋注入来反转存储层中的磁化方向,必须使隧道绝缘层的薄层电阻保持在几十个 $\Omega\text{-}\mu\text{m}^2$ 以下。

[0117] 在由 MgO 膜形成隧道绝缘层的情况下,其厚度必须为 1.5nm 以下,以使薄层电阻在上述范围内。

[0118] 除了氧化镁之外,可以将其他材料,例如,氧化铝、氮化铝、 SiO_2 、 Bi_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 、

SrTiO₂、AlLaO₃、Al-N-O、以及各种其他绝缘材料、电介质材料、和半导体用作在存储层和磁化固定层之间的隧道绝缘层的材料。

[0119] 此外,需要使存储元件很小,以便可以利用小电流来轻松反转存储层中的磁化方向。优选地,存储元件的面积为 0.04 μm² 以下。

[0120] 存储层通常包括主要由诸如 Co、Fe、和 Ni 的铁磁材料形成的一个以上的层,每个层均包括两种或两种以上材料的合金。由这些堆叠的层形成存储层。

[0121] 将合金元素添加到每个铁磁层中,从而既控制饱和磁化和其他磁特性,又控制晶体结构(结晶结构、微晶结构、非晶结构)。例如,使用 CoFe 合金、CoFeB 合金、Fe 合金、或 NiFe 合金作为主要成分、Gd 或另一磁性元素,或者可以添加 B、C、N、Si、P、Al、Ta、Mo、Cr、Nb、Cu、Zr、W、V、Hf、Gd、Mn、和 Pd 中的一种或多种类型作为其他元素。同样,可以使用通过将 Zr、Hf、Nb、Ta、和 Ti 中选出的一种或多种元素添加到诸如 CoMnSi、CoMnAl、CoCrFeAl 等的 Co、或 Heusler 材料中而获得的非晶材料。

[0122] 当 CoFeB 合金用于形成存储层的铁磁层时,为了确保充分磁化和软磁特性,优选地,作为存储层的铁磁成份的 Co 和 Fe 的总含量比为 60 原子%以上。

[0123] 如果 Co 和 Fe 的总含量比为 60 原子%以下,则不能获取作为铁磁层的充分饱和磁化和抗磁力。此外,当 Co : Fe 比在 90 : 10 到 40 : 60 的范围内时,通常,适当抑制磁各向异性扩散,并获得满意的软磁特性。

[0124] 还可以使不同合成范围内的多种材料或多个铁磁层直接层压来形成存储层。可以使铁磁层和软磁性层层压,或者可以通过软磁性层来层压多个铁磁层。当利用这种层压时,可以获得根据本发明实施例的有利结果。

[0125] 此外,根据本发明的实施例,如果通过非磁性层堆叠两个或多个铁磁层来形成存储层时,可以降低存储层的饱和磁化 Ms,从而减小了电流阈值 Ic0。

[0126] 优选地,将 Ti、Ta、Nb、或 Cr 用作非磁性层材料,其中,可以单独使用这些元素,或以合金的形式使用这些元素。

[0127] 如果可以获得类似的有利结果,则可以使用其他非磁性元素。例如,可以使用 Ru、Os、Re、Ir、Au、Ag、Cu、Al、Bi、Si、B、C、Pd、Pt、Zr、Hf、W、Mo 等。

[0128] 例如,当存储层的铁磁层的主要成分是 CoFeB 而非磁性层使用从 Ti、Ta、Nb、和 Cr 中选出的一种或多种非磁性元素时,优选地,可以确定非磁性层的厚度,以使整个存储层中的非磁性元素的含量为 1 原子%以上和 20 原子%以下。

[0129] 如果含量低(如果非磁性层薄),则减小了降低饱和磁化的影响,并且难以将铁磁层以令人满意的状态沉积到非磁性层的顶部。

[0130] 如果含量高(如果非磁性层厚),则降低了饱和磁化,但是也减小了存储元件的 MR 比,从而使读取变得困难。

[0131] 在那些情况下,为了降低存储层的饱和磁化 Ms,在存储层中主要包括非磁性元素。然而,也可以将诸如 MgO、Ta₂O₃、和 Al₂O₃ 的氧化物插入到存储层的层压结构中,以提高热稳定性指数 Δ。

[0132] 此时,需要使各个氧化层的厚度为 0.5nm 以下,从而使存储层的阻抗值不会变大。

[0133] 应了解,同时可以添加用于降低饱和磁化 Ms 的非磁性元素和用于提高热稳定性指数 Δ 的氧化物。

[0134] 在存储层的铁磁材料中可以包括非磁性元素,而不是通过非磁性层堆叠两个或多个铁磁层。使用这种结构,同样可以减小存储层的饱和磁化 M_s ,并因此可以减小电流阈值 I_{c0} 。

[0135] 可以通过(例如)使用包含铁磁材料和非磁性元素的靶、或通过将非磁性元素混入铁磁材料中的共同溅镀来形成具有这种配置的存储层。

[0136] 在这些情况下,以与层压配置情况相类似的方式来确定非磁性元素的含量。

[0137] 当存储层的铁磁材料中包括非磁性元素时,非磁性元素还分布在隧道绝缘层和存储层之间的界面附近,这可以减小 MR 比。

[0138] 也就是说,从 MR 比的观点来看,如果含量相同,则层压铁磁层和非磁性层的结构是有利的。

[0139] 非磁性金属材料用于设置在自旋阻挡层与存储层相对的一侧上的自旋吸收层。

[0140] 根据本发明的实施例,使用所选出以便如果以与存储层接触的方式设置自旋吸收层,则自旋抽运现象可能使存储层的吉尔伯特阻尼常数增大的材料来形成自旋吸收层。

[0141] 如果自旋吸收层与存储层直接接触,则发生自旋抽运现象,但是当 MgO 或另一种材料的自旋阻挡层将自旋吸收层和存储层隔开时,不会发生自旋抽运现象,另外,虽然不清楚原因,但是,与没有设置自旋吸收层的情况相比,减小了 I_{c0} 。

[0142] Pt 、 Pd 、 Ru 、和 Au 是指所选出和所使用的这种材料,但是只要获得相似的效果,可以使用任何材料。上述材料具有短的自旋扩散长度,并且可以使用具有同样短的自旋扩散长度的材料。

[0143] 优选地,自旋吸收层的厚度可以大于形成自旋吸收层的材料的自旋扩散长度。如果自旋吸收层的厚度小于自旋扩散长度,则没有充分吸收自旋,因此,降低了设置自旋吸收层的效果。

[0144] 根据本发明的实施例,需要存储元件包括具有单向各向异性的磁化固定层,并且需要存储层具有单轴各向异性。

[0145] 此外,优选地,存储层的磁化固定层的膜厚度可以分别为 $1nm$ 到 $40nm$ 以及 $1nm$ 到 $10nm$ 。

[0146] 存储元件的其他配置可以与通过自旋注入来记录信息的现有技术的存储元件的配置类似。

[0147] 磁化固定层仅利用铁磁层、或利用反铁磁层和铁磁层之间的反铁磁耦合来固定磁化的方向。

[0148] 磁化固定层具有单层的铁磁层,或者具有层压结构(其中,使用其间的非磁性层来层压多层铁磁层)。当磁化固定层具有层压的铁磁结构时,可以降低磁化固定层对外部磁场的敏感性,因此,可以控制由于外部磁场而产生的磁化固定层中的磁化波动,以稳定操作存储元件。此外,可以调整各个铁磁层的膜厚度,从而可以减少来自磁化固定层的漏磁场。

[0149] 可以将 Co 、 $CoFe$ 、 $CoFeB$ 等用作具有层压铁磁结构的磁化固定层中的铁磁层的材料。可以将 Ru 、 Re 、 Ir 、 Os 等用作非磁性层材料。

[0150] 可以将 $FeMn$ 合金、 $PtMn$ 合金、 $PtCrMn$ 合金、 $NiMn$ 合金、 $IrMn$ 合金、 NiO 、 Fe_2O_3 、和其他磁性材料用作反铁磁层材料。

[0151] 可以将 Ag 、 Cu 、 Au 、 Al 、 Si 、 Bi 、 Ta 、 B 、 C 、 O 、 N 、 Pd 、 Pt 、 Zr 、 Hf 、 Ir 、 W 、 Mo 、 Nb 、和其他

非磁性材料添加到这些磁性材料中,以调整磁性特性以及整结晶结构、结晶度、物理性质的稳定性和各种其他物理性质。

[0152] 存储元件具有存储层可以放置在磁化固定层上或下的结构。

[0153] 作为用于读取存储在存储元件的存储层中的信息的方法,可以将用作信息参考的磁性层通过薄绝缘膜设置到存储元件的存储层上,并可以通过使流过绝缘层的铁磁隧道电流流过来读取信息。可选地,可以利用磁阻效应来读取信息。

[0154] 接下来,描述本发明的特定实施例。

[0155] 图 4 示出了根据本发明实施例的存储器的示意(透视)图。

[0156] 存储器包括存储元件,上述存储元件能够基于磁化状态来存储信息并且排列在垂直相交的两种地址配线(例如,字线和位线)的交点附近。

[0157] 具体地,形成用于选择存储单元的选择晶体管的漏极区 8、源极区 7、和栅电极 1 形成在硅衬底或其他半导体衬底 10 上由元素分离层 2 隔开的各个部分中。栅电极 1 还用作沿图中的前后方向延伸的地址配线(例如,字线)。漏极区 8 经形成以被图中的左边和右边的选择晶体管所共用。导线 9 连接至这些漏极区 8。

[0158] 存储元件 3 被放置在源极区 7 和沿图中的左右方向上延伸的其他地址配线(例如,位线)6 之间。这些存储元件 3 具有由铁磁层(通过自旋注入反转其磁化方向)形成的存储层。

[0159] 存储元件 3 被放置在两种地址配线 1 和 6 的交点附近。

[0160] 在存储元件 3 中,通过垂直接触层 4 来连接位线 6 和源极区 7。

[0161] 因此,可以使电流在存储元件 3 中沿垂直方向通流过两种地址配线 1 和 6,因此,可以通过自旋注入来反转存储层中的磁化方向。

[0162] 图 5 是该实施例的存储器中的存储元件 3 的截面图。

[0163] 如图 5 所示,存储元件 3 包括在存储层 32 下的磁化固定层 31,该存储层包括铁磁层 17(通过自旋注入来反转其磁化 M1 的方向)。

[0164] 在存储层 32 和磁化固定层 31 之间设置用作隧道阻挡层(隧道绝缘层)的绝缘层 16。通过存储层 32 和磁化固定层形成 MTJ 元件。

[0165] 在磁化固定层 31 下形成底层 11,并形成保护层 20 作为最上层。

[0166] 此外,磁化固定层 31 具有交换偏压的层压铁磁结构。

[0167] 具体地,层压两个铁磁层 13 和 15 并在其间反铁磁地耦合非磁性层 14,并在铁磁层 13 下并邻近铁磁层 13 放置反铁磁层 12,从而形成磁化固定层 31。通过反铁磁层 12 来固定铁磁层 13 的磁化 M13 的方向。

[0168] 利用两个铁磁层 13 和 15 的反铁磁耦合,铁磁层 13 的磁化 M13 指右,铁磁层 15 的磁化 M15 指左,并且这两个磁化指相反的方向。

[0169] 因此,在磁化固定层 31 中,来自铁磁层 13 的漏磁通量和来自铁磁层 15 的漏磁通量彼此抵消。

[0170] 虽然没有特别限制,但是可以将包括从铁、镍、和钴中选出的一种、或两种以上的合金材料用作铁磁层 17(作为存储层 32)的材料。另外,既可以包括诸如 Nb、Zr、Gd、Ta、Ti、Mo、Mn、Cu 等的过渡金属元素,也可以包括诸如 Si、B、和 C 的轻元素。同样,可以通过直接堆叠各种不同材料的膜(例如,CoFeB/Ta/CoFeB 的层压膜)来形成存储层 32。

[0171] 虽然没有特性限制,但是可以将合金材料(包括从铁、镍、和钴中选出的一种或两种以上)用作磁化固定层 15 中的铁磁层 13 和 15 的材料。另外,既可以包括诸如 Nb、Zr、Gd、Ta、Ti、Mo、Mn、Cu 等的过渡金属元素,也可以包括诸如 Si、B、和 C 的轻元素。同样,可以通过直接堆叠多种不同材料的膜(例如,CoFe/NiFe/CoFe 的层压膜)形成铁磁层 13 和 15。

[0172] 可以将钨、铜、铬、金、银等用作形成磁化固定层 31 的层压铁磁结构的非磁性层 14 的材料。

[0173] 非磁性层 14 的膜厚度可以视材料而不同,但是,优选地,厚度基本上在 0.5nm 到 2.5nm 的范围内。

[0174] 可以适当调整磁化固定层 31 的铁磁层 13、15 的膜厚度和存储层 32 的铁磁层 17 的膜厚度。适合的厚度为 1nm 以上和 5nm 以下。

[0175] 根据实施例,存储元件 3 具体包括自旋阻挡层 18,该自旋阻挡层抑制自旋极化电子的扩散并被设置在存储层与磁化固定层 31 相对的一侧上,即,作为在存储层 32 上的层。此外,存储元件 3 包括被设置在自旋阻挡层上的自旋吸收层 19。

[0176] 自旋阻挡层 18 包括从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的一种以上的材料。

[0177] 具体地,自旋阻挡层 18 包括从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的一种以上的材料,或者包括主要成分是从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的一种以上的添加有少量的另一种元素(例如,金属元素等)的材料。

[0178] 由于设置了这种自旋阻挡层 18,所以抑制了在反转存储层 32 的磁化 M1 的方向期间的自旋抽运现象。

[0179] 此外,抑制了来自自旋吸收层 19 或来自保护层 20 的金属元素扩散到存储层 32 中。因此,可以获得通常需要的存储层 32 的铁磁材料,因此存储层 32 的热稳定性指数 Δ 变大。因此,也提高了存储层 32 的热稳定性。

[0180] 此外,由于自旋吸收层 19 被设置在自旋阻挡层 18 和保护层 20 之间,所以进一步提高了自旋注入的效率,并且可以减小 I_{c0} 。

[0181] 同样,根据该实施例,当将氧化镁层用作绝缘层 16(中间层)时,可以增大磁阻变化率(MR 比)。

[0182] 通过增大上述的 MR 比,提高了自旋注入的效率,并且可以减小用于反转存储层 17 中的磁化 M1 的方向的电流密度。

[0183] 可以通过在真空装置中连续形成从底层 11 到保护层 20 的各个层、然后通过蚀刻和执行其他处理形成存储元件 3 的图案,来制造根据该实施例的存储元件 3。

[0184] 根据本发明的上述实施例,包括从氧化物、氮化物、和氟化物中选出的一种以上的材料的自旋阻挡层 18 被设置在存储层 32 与磁化固定层相对的一侧上。因此,利用自旋阻挡层 18 控制自旋极化电子的扩散。因此,在存储层 32 中出现了自旋累积,并且在反转存储层 32 的铁磁层 17 中的磁化 M1 的方向期间,抑制了自旋抽运现象。

[0185] 因此,可以防止由于自旋抽运现象引起的自旋注入效率的退化,并且可以提高自旋注入的效率。

[0186] 此外,由于利用自旋阻挡层 18 抑制了金属元素从保护层 20 扩散到存储层 32 中,并且可以获得存储层 32 的铁磁材料通常需要的特性,所以存储层 32 的热稳定性指数 Δ 会变大。因此,也提高了存储层 32 的热稳定性。

[0187] 由于提高了存储层 32 的热稳定性,所以可以扩大存储元件 3 的操作范围(其中,使电流流过来记录信息),可以确保宽的操作边界,并且存储元件 3 可以稳定运转。

[0188] 因此,可以获得稳定运转的高可靠性的存储器。

[0189] 此外,由于自旋吸收层 19 被设置在自旋阻挡层 18 与存储层 32 相对的一侧上,所以可以进一步提高自旋注入的效率,并且可以降低 I_{c0} 。

[0190] 根据该实施例的存储元件 3,可以提高自旋注入效率,从而可以减小用于反转存储层 32 的磁化 M1 的方向的电流。

[0191] 因此,可以降低包括这种存储元件 3 的存储器的功耗。

[0192] 当制造如图 4 所示配置并包括图 5 所示的存储元件 3 的存储器时,优点在于可以应用于形成典型半导体 MOS 的处理。

[0193] 因此,可以将该实施例的存储器用作通用存储器。

[0194] 具体地,图 5 所示的存储元件 3 具有自旋阻挡层 18,从而提高了存储层 32 的耐热性。因此,一旦在 340°C 到 400°C 时退火,存储层 32 的磁化特性不会退化,并可以轻松应用形成典型半导体 MOS 的处理。

[0195] 此处,为每个层选择特定的材料、膜厚度等,并且研究了具有根据本发明实施例的配置的存储元件的各个特性。

[0196] 如图 4 所示,除存储元件之外,在实际存储器中还设置有用于进行切换的其他半导体电路。然而,此处为了获得存储层的磁化反转特性,在研究中仅使用了装配有存储元件的晶片。

[0197] 实例

[0198] 在厚度为 0.575mm 的硅衬底上形成厚度为 $2\ \mu\text{m}$ 的热氧化膜,并且在硅衬底的顶部上形成具有图 5 所示配置的存储元件 3。

[0199] 具体地,如下为每个层选择被配置为如图 5 所示的存储元件 3 的材料和膜厚度。选择厚度为 3nm 的 Ta 膜作为底层 11。选择厚度为 30nm 的 PtMn 作为反铁磁层 12。选择厚度为 2.2nm 的 CoFe 膜作为铁磁层 13。选择厚度为 2nm 的 CoFeB 膜作为磁化固定层 31 的铁磁层 15。选择厚度为 0.8nm 的 Ru 膜作为具有层压的铁磁结构的磁化固定层 31 的非磁性层 14。选择厚度为 0.8nm 的 MgO 膜作为隧道绝缘层 16。选择 CoFeB(1nm)/Ta(0.2nm)/CoFeB(1nm) 层压膜作为存储层 32。选择厚度为 1.1nm 作为自旋阻挡层 18。选择厚度为 3nm 为 Pt 或 Pb 膜作为自旋吸收层 19。选择厚度为 5nm 的 Ta 膜作为保护层 20。

[0200] 与图 5 所示具有一层的铁磁层 17 不同,存储层 32 是 CoFeB/Ta/CoFeB 层压膜。然而,由于两个 CoFeB 层之间的 Ta 膜的厚度薄到 0.2nm ,所以在没有反铁磁耦合的情况下,两个 CoFeB 层具有相同方向的磁化。因此,可以认为该配置与图 5 所示具有一层的铁磁层 17 的配置类似。

[0201] 在以上的膜结构中,CoFeB 膜的组成为 $\text{Co}_{48}\text{Fe}_{32}\text{B}_{20}$ (原子%),CoFe 膜的组成为 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (原子%),以及 PtMn 膜的组成为 $\text{Pt}_{38}\text{Mn}_{62}$ (原子%)。

[0202] DC 磁控管溅镀法用于沉积除由 MgO 形成的隧道绝缘层 16 和自旋阻挡层 18 之外的每个层。

[0203] 使用 RF 磁控管溅镀法来沉积包括 MgO 膜的隧道绝缘层 16 和自旋阻挡层 18。

[0204] 在沉积存储元件 3 的所有层之后,利用所施加的磁场,在热处理炉中的 10kOe 场

中,在 340℃执行热处理两个小时,以执行反铁磁层 12 的 PtMn 膜的有序热处理。

[0205] 接下来,使用光刻法来形成字线部分的掩膜,此后,使用 Ar 等离子体来选择性地蚀刻除字线外的层压膜部分,从而形成了字线(下电极)。此时,将除字线外的部分蚀刻为深度为 5nm 的衬底。

[0206] 随后,使用电子束绘图装置来形成存储元件 3 的图案的掩模,选择性地蚀刻层压的膜,并形成存储元件 3。将除存储元件 3 外的其他部分蚀刻为深度为 10nm 的反铁磁膜 12。

[0207] 形成短轴长为 70nm 和长轴长为 250nm 的椭圆形状作为存储元件 3 的图案。

[0208] 接下来,通过溅镀厚度约 100nm 的 Al_2O_3 来使除存储元件 3 外的部分绝缘。

[0209] 随后,光刻法用于形成用作上电极的位线和用于测量的衬垫,从而完成了存储元件 3 的样品的制造。

[0210] 此外,使用上述制造方法,制造将 Pt 膜用作自选吸收层 19 的存储元件 3 的样品、和将 Pd 膜用作自选吸收层 19 的样品。在实例 1 和实例 2 中分别使用它们作为样品。

[0211] 比较实例

[0212] 作为比较实例 1,通过类似的制造方法来制造存储元件 70 的样品,但是如图 6 的截面图所示,在该样品的配置中,没有为存储元件 3 设置自旋阻挡层 18 或自旋吸收层 19(存储层 32/保护层 20)。作为比较实例 2,通过类似的制造方法来制造存储元件 80 的样品,但是如图 7 的截面图所示,在该样品的配置中,没有为存储元件 3 设置自旋阻挡层 18(存储层 32/自旋吸收层 19/保护层 20)。在比较实例 2 中,自旋吸收层 19 为 Pt 膜。

[0213] 此外,作为比较实例 3,通过类似的制造方法来制造存储元件 90 的样品,但是如图 8 的截面图所示,在该样品的配置中,没有为存储元件 3 设置自旋吸收层 19(存储层 32/自旋阻挡层 18/保护层 20)。

[0214] 反转电流 I_{c0} 和热稳定性指数 Δ 的测量

[0215] 以下,测量根据实例和比较实例中的每个的存储元件样品的反转电流 I_{c0} 和热稳定性指数 Δ 。

[0216] 在限定温度下,事实上,通过自旋注入发生磁化反转的电流 I_c 不同于 I_{c0} 。这是因为存储元件的尺寸太小而不能忽视热起伏的影响。

[0217] 通常,当施加电流的持续时间为约 100ns 以上,获得的 $I_c < I_{c0}$,并且根据 I_c 小于 I_{c0} 来确定热稳定性指数 Δ 。

[0218] 具体地,当测量依赖 I_c 的电流施加时间并以对数分度(logscale)根据电流施加时间来绘制 I_c 的值时,斜率的倒数是指数 Δ 。即,热稳定性越好, I_c 与电流施加时间的关系越小。

[0219] 测量依赖 I_c 的电流施加时间,并且如图 9 图解所示,以对数分度根据电流施加时间来绘制 I_c ,并且获知当推断电流施加时间为 1ns 时得到的 I_c 为 I_{c0} 。在实际测量中,电流施加时间从 10 μ s 变化到 100ms,并且对相同的电流施加时间,重复测量三次。由于存储元件可能变化,所以要制造约 30 个具有相同结构的存储元件,测量 I_{c0} 和 Δ ,并计算平均值。此外,存储元件的图案也可能变化,根据存储层 32 的面积来划分 I_{c0} 的值,从而确定反转电流密度 J_{c0} 。

[0220] 表 1 示出了热稳定性指数 Δ 和反转电流密度 J_{c0} 的测量结果。

[0221] 表 1

[0222]

	自旋阻挡层	自旋吸收层	保护层	Δ	J_{c0} [MA/cm ²]
比较实例 1	NA	NA	Ta (5)	35	6.0
比较实例 2	NA	Pt (3)	Ta (5)	51	13.3
比较实例 3	MgO (1.1)	NA	Ta (5)	45	4.2
实例 1	MgO (1.1)	Pt (3)	Ta (5)	47	3.3
实例 2	MgO (1.1)	Pd (3)	Ta (5)	46	3.3

[0223] NA :不可用

[0224] 如表 1 所示,具有没有自旋阻挡层 18 和自旋吸收层 19 的最典型配置的比较实例 1 具有 $\Delta = 35$ 和 $J_{c0} = 6.0 \text{ MA/cm}^2$ 的结果。

[0225] 接下来,具有自旋阻挡层 18 但不具有自旋吸收层 19 的比较实例 3 具有 $\Delta = 35$ 、 $J_{c0} = 4.2 \text{ MA/cm}^2$ 的结果。因而,通过设置自旋阻挡层 18,提高了热稳定性,并且减小了反转电流,因此该配置可以使用作存储元件。

[0226] 另一方面,没有设置自旋阻挡层 18 但直接将自旋吸收层 19 设置在存储层 32 上的比较实例具有 $\Delta = 51$ 、 $J_{c0} = 13.3 \text{ MA/cm}^2$ 的结果。虽然进一步增大了 Δ ,但是也将反转电流增大到约为表示典型结构的比较实例 1 的值的两倍、以及约为设置有自旋阻挡层 18 的比较实例 3 的值的三倍。这是由于引起自旋抽运现象的 Pt 直接接触存储层 32 而引起存储层 32 的吉尔伯特阻尼常数增大。由于在这种配置中增大了 J_{c0} 值,因此将该元件用作存储元件是不利的。

[0227] 另一方面,根据本发明实施例的实例都包括自旋阻挡层 18 和自旋吸收层 19。在自旋吸收层 21 为 3nm Pt 膜的实例 1 的情况下,结果为 $\Delta = 47$ 和 $J_{c0} = 3.3 \text{ MA/cm}^2$,而在自旋吸收层 21 为 3nm Pd 膜的实例 2 的情况下,结果为 $\Delta = 46$ 和 $J_{c0} = 3.3 \text{ MA/cm}^2$ 。

[0228] 即,在两个实例中,尽管 Δ 与仅设置自旋阻挡层 18 的比较实例 3 的值是差不多的,但是 J_{c0} 减小了约 20%。实例 1 和实例 2 之间没有显著差别,并且不考虑作为 Pt 膜或 Pd 膜的自旋吸收层 19,都获得类似的有利结构。

[0229] 从以上结果可以看出,当对存储层 32 设置自旋阻挡层 18 和自旋吸收层 19 时,可以降低反转电流密度,并还可以提高热稳定性。

[0230] 存储元件 3 的膜结构并不限于以上实施例中所描述的配置,而是可以采用各种膜结构。

[0231] 在上述每个实施例中,存储元件的磁化固定层 3 具有交换偏压的层压铁磁结构。然而,如果磁化固定很充分,则可以使用单层的铁磁层,或者可以使用反铁磁层 / 铁磁层结构、或没有反铁磁层的层压铁磁结构。

[0232] 磁化固定层的各个铁磁层并不限于单层,并且可以使用包括不同材料的多个层的层压膜。

[0233] 此外,存储元件可以被配置为具有层压顺序与上述实施例的层压顺序相反的多个层。

[0234] 本发明并不限于上述实施例,并且在不背离本发明的精神情况下,可以采用多种配置。

[0235] 本领域的技术人员应该理解,根据设计要求和因素,可以有多种修改、组合、子组合和改进,均应包含在本发明的权利要求或等同物的范围之内。

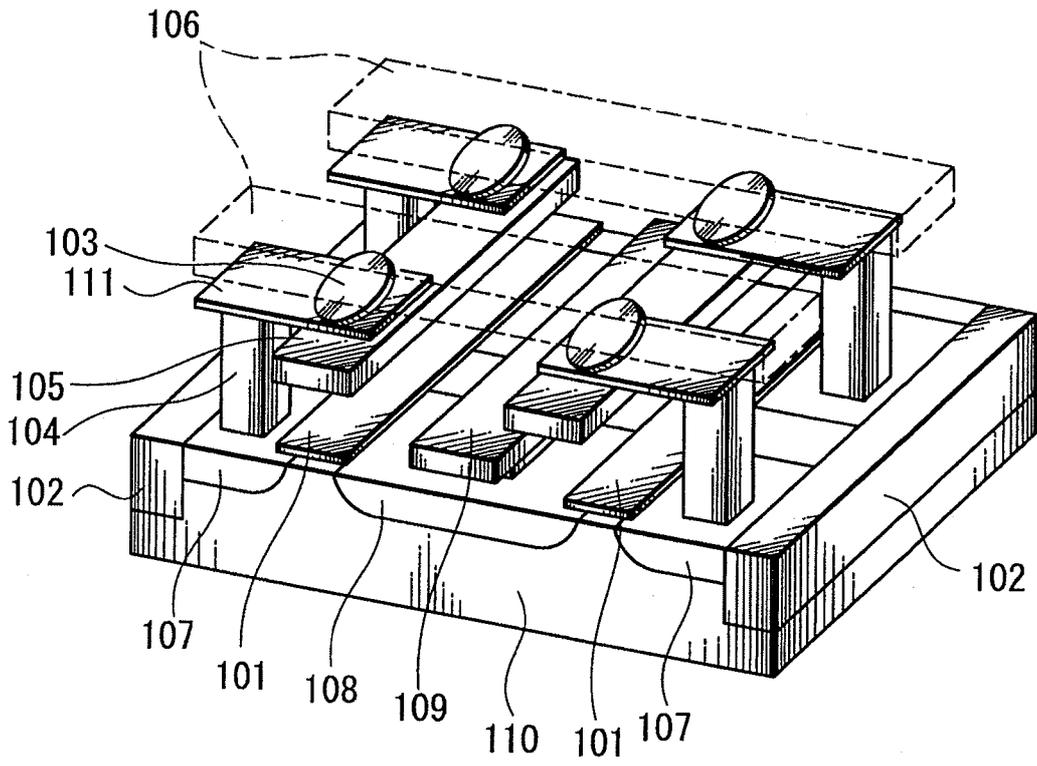


图 1

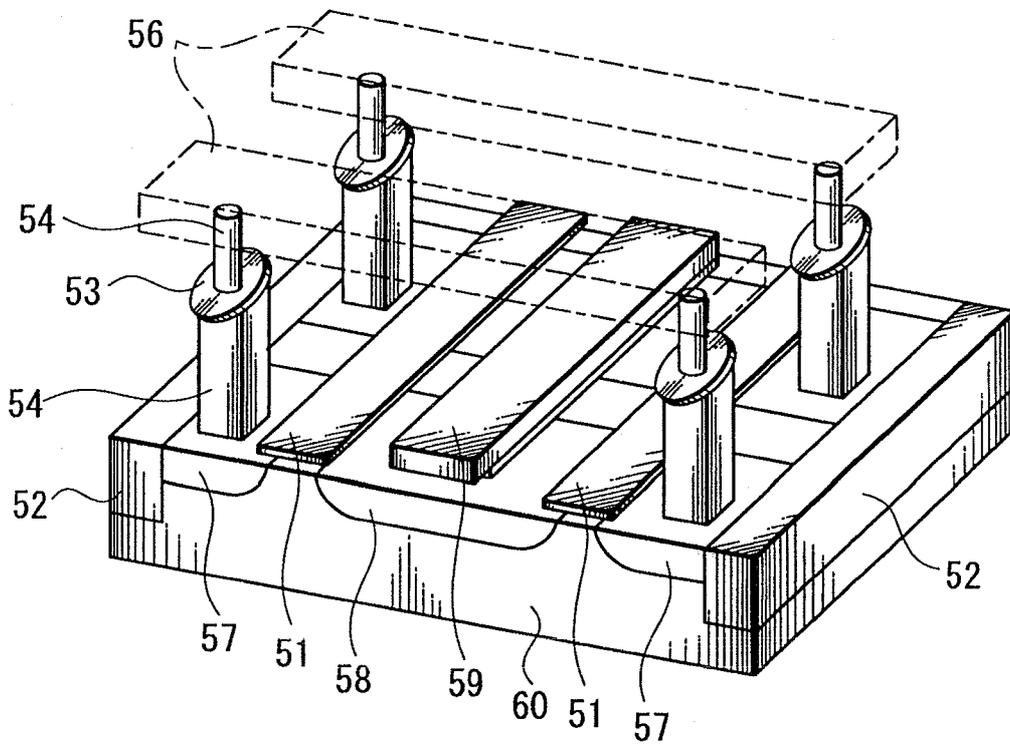


图 2

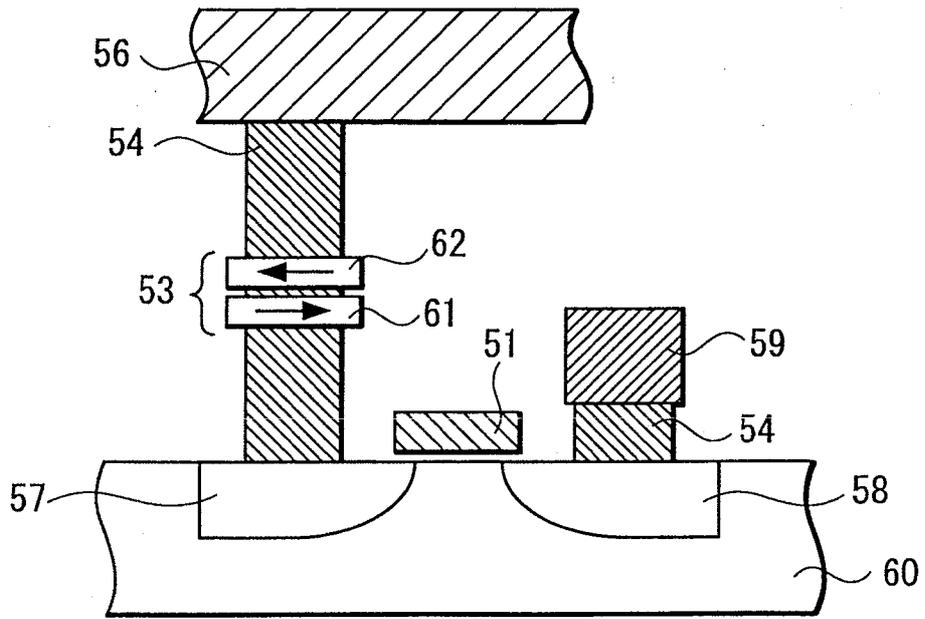


图 3

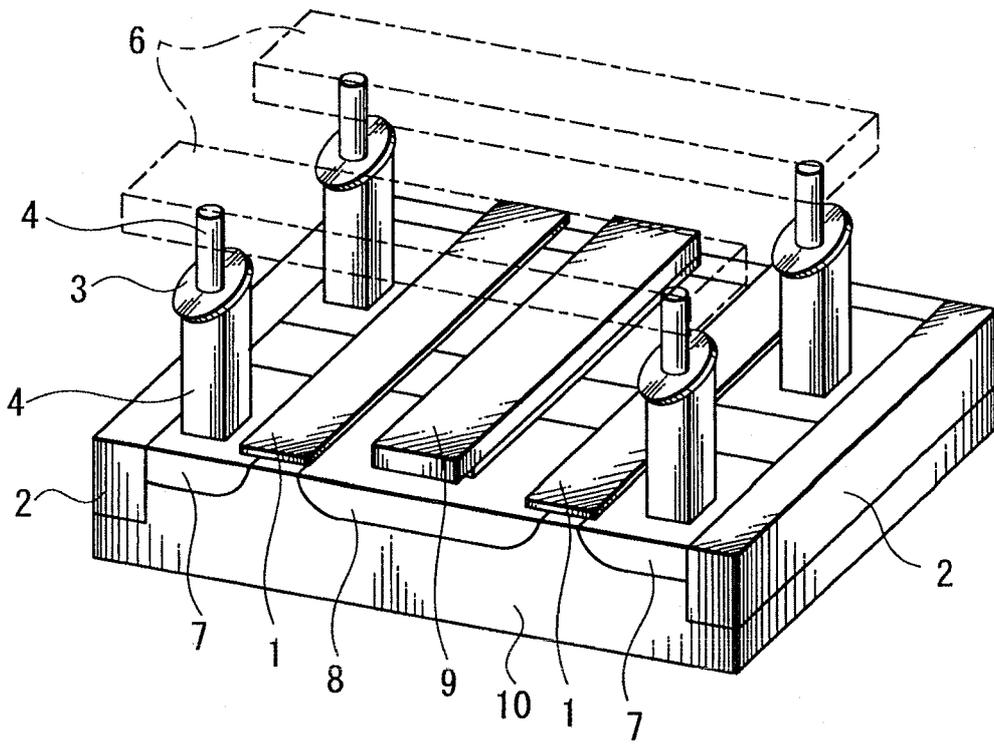


图 4

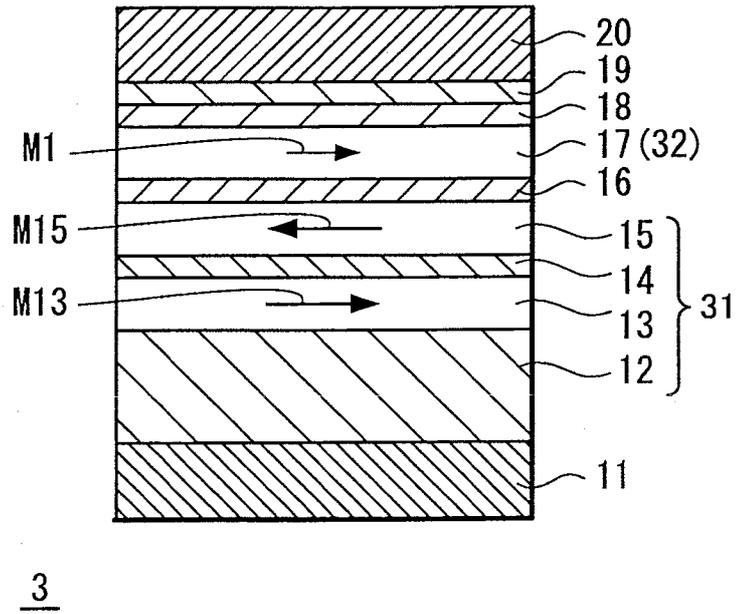


图 5

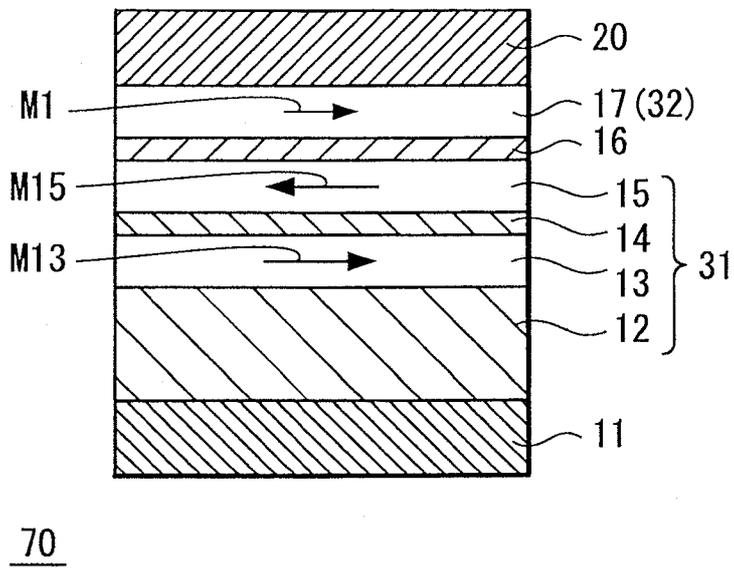
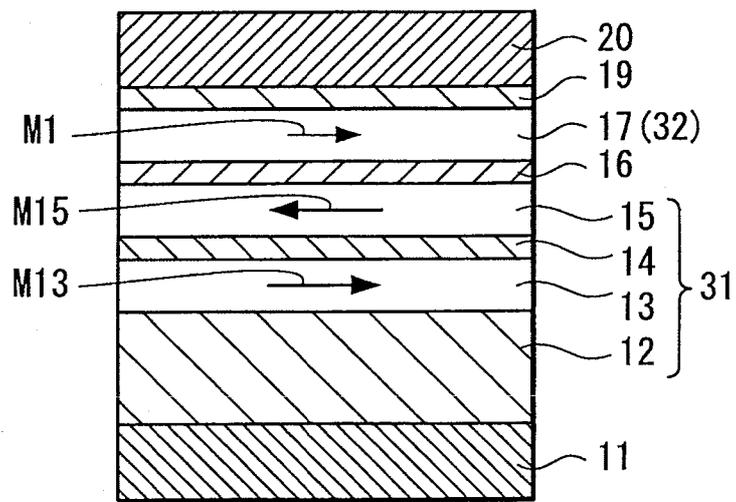
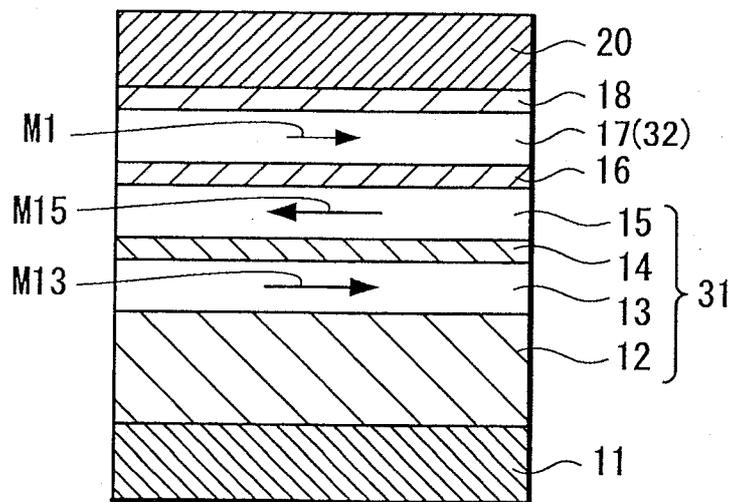


图 6



80

图 7



90

图 8

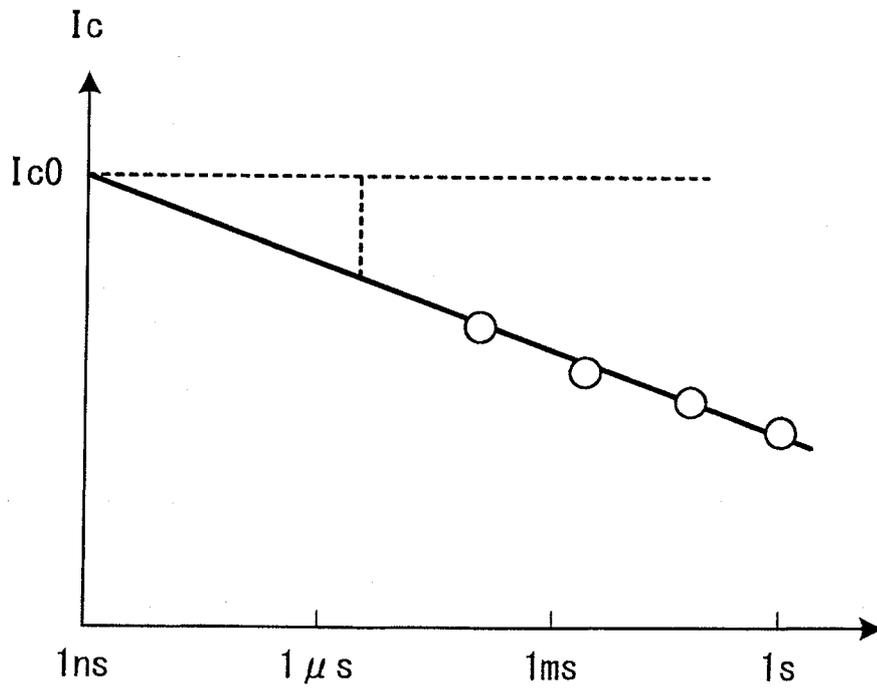


图 9