



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102629489 A

(43) 申请公布日 2012. 08. 08

(21) 申请号 201210023215. 6

(22) 申请日 2012. 01. 20

(30) 优先权数据

2011-021342 2011. 02. 03 JP

(71) 申请人 索尼公司

地址 日本东京都

(72) 发明人 内田裕行 细见政功 大森广之

别所和宏 肥后丰 浅山彻哉

山根一阳

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理

有限责任公司 11258

代理人 柳春雷

(51) Int. Cl.

G11C 13/06 (2006. 01)

权利要求书 2 页 说明书 25 页 附图 11 页

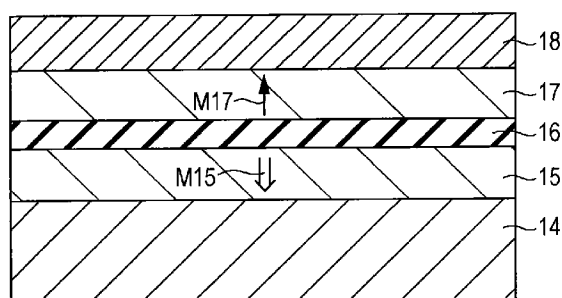
(54) 发明名称

存储元件和存储器装置

(57) 摘要

本发明涉及存储元件和存储器装置。一种存储元件,包括:存储层,其具有垂直于膜表面的磁化,并且所述存储层的磁化的方向根据信息而变化;磁化固定层,其具有垂直于膜表面的磁化,用作作为存储在所述存储层中的所述信息的基准;以及绝缘层,由非磁性体形成并布置在所述存储层和所述磁化固定层之间。所述磁化固定层具有其中非磁性层夹持在具有磁性反平行连接的层叠铁磁结构的上下铁磁性层之间的结构。通过沿着包括所述存储层、所述绝缘层和所述磁化固定层的层结构的层叠方向注入自旋极化电子来改变所述存储层的磁化的方向,并且在所述存储层上执行信息的记录。

3



1. 一种存储元件,包括:

存储层,其具有垂直于膜表面的磁化,并且所述存储层的磁化的方向根据信息而变化;

磁化固定层,其具有垂直于所述膜表面的磁化,所述磁化固定层用作存储层中的信息的基准;以及

由非磁性体形成的绝缘层,所述绝缘层布置在所述存储层和所述磁化固定层之间,

其中,所述磁化固定层具有非磁性层夹持在上铁磁性层与下铁磁性层之间的结构,所述上铁磁性层和所述下铁磁性层具有磁性反平行连接的层叠铁销结构,

其中,通过沿着具有所述存储层、所述绝缘层和所述磁化固定层的层结构的层叠方向注入自旋极化电子,来改变所述存储层的磁化的方向,并且在所述存储层上执行信息的记录,

其中,所述存储层接收到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,形成其中非磁性层夹持在所述上铁磁性层与所述下铁磁性层之间的多个结构。

3. 根据权利要求2所述的存储元件,其中,构成所述存储层和所述绝缘层的界面的铁磁性材料是 Co-Fe-B。

4. 根据权利要求3所述的存储元件,其中,所述 Co-Fe-B 的成分为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ , 其中:

$$0 \leq \text{Co}_x \leq 40;$$

$$60 \leq \text{Fe}_y \leq 100; \text{并且}$$

$$0 < \text{B}_z \leq 30。$$

5. 根据权利要求3所述的存储元件,其中,所述 Co-Fe-B 的成分为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ , 其中:

$$0 \leq \text{Co}_x \leq 40;$$

$$60 \leq \text{Fe}_y \leq 100; \text{并且}$$

$$20 < \text{B}_z \leq 40。$$

6. 根据权利要求4所述的存储元件,其中,构成所述磁化固定层的铁磁性层的材料是成分为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$  的 Co-Fe-B, 其中:

$$0 \leq \text{Co}_x \leq 40;$$

$$60 \leq \text{Fe}_y \leq 100; \text{并且}$$

$$0 < \text{B}_z \leq 30。$$

7. 根据权利要求5所述的存储元件,其中,构成所述磁化固定层的铁磁性层的材料是成分为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$  的 Co-Fe-B, 其中:

$$0 \leq \text{Co}_x \leq 40;$$

$$60 \leq \text{Fe}_y \leq 100; \text{并且}$$

$$20 < \text{B}_z \leq 40。$$

8. 根据权利要求6所述的存储元件,其中,在所述非磁性层夹持在所述上铁磁性层与所述下铁磁性层之间的所述多个结构中,在所述绝缘层侧上构成所述夹持结构的非磁性层是 Ta。

9. 根据权利要求 7 所述的存储元件,其中,在所述非磁性层夹持在上、下铁磁性层之间的所述多个结构中,在所述绝缘层侧上构成所述夹持结构的非磁性层是 Ta。

10. 一种存储器装置,包括:

存储元件,其通过磁性体的磁化状态来存储信息;以及  
彼此相交的两种线,

其中,所述存储元件,包括:存储层,其具有垂直于膜表面的磁化,所述存储层的磁化的方向根据信息而变化;磁化固定层,其具有垂直于所述膜表面的磁化,所述磁化固定层用作存储所述存储层中的信息的基准;以及由非磁性体形成的绝缘层,所述绝缘层布置在所述存储层和所述磁化固定层之间,其中,所述磁化固定层具有非磁性层夹持在上铁磁性层与下铁磁性层之间的结构,所述上铁磁性层和所述下铁磁性层具有磁性反平行连接的层叠铁销结构,其中,通过沿着具有所述存储层、所述绝缘层和所述磁化固定层的层结构的层叠方向注入自旋极化电子,来改变所述存储层的磁化的方向,并且在所述存储层上执行信息的记录,其中,所述存储层接收到的有效反磁场的大小小于所述存储层的饱和磁化量,

其中,所述存储元件布置在所述两种线之间,并且

其中,通过所述两种线使电流沿所述层叠方向在所述存储元件中流动,并且执行自旋极化电子的注入。

## 存储元件和存储器装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及存储元件和具有存储元件的存储器装置，存储元件包括存储层和磁化固定层，并通过电流的流动来改变存储层的磁化方向，存储层将铁磁性层的磁化状态存储为信息，磁化固定层的磁化方向是固定的。

### 背景技术

[0002] 在例如计算机等的信息设备中，具有高操作速度和高密度的 DRAM 被广泛用作为随机存取存储器。

[0003] 然而，由于该 DRAM 是其中当电力断掉时信息发生损失的易失存储器，因此需要其中信息不发生损失的非易失存储器。

[0004] 作为非易失存储器的候选已经关注磁性随机存取存储器 (MRAM)，用磁性物质的磁化记录信息，其发展正在进行中。

[0005] MRAM 记录信息，使得电流分别在基本上彼此垂直的两种地址线（字线 (word line) 和位线）上流动，并且布置在地址线的交叉点中的磁性存储元件的磁性层的磁化通过每个地址线产生的电流磁场而反转。

[0006] 图 13 示出一般 MRAM 的示意图（立体图）。

[0007] 构成用于对每个存储器单元进行选择的选择晶体管的漏区 108、源区 107 和栅电极 101 分别形成在由半导体基底 110（例如硅基底等）的元件分离层 102 分开的部分中。

[0008] 沿图的前后方向延伸的字线 105 布置在栅电极 101 上方。

[0009] 漏区 108 共同地形成在沿图的左 - 右侧的选择晶体管中，并且线 109 连接到漏区 108。

[0010] 具有存储层（其中磁化方向反转）的磁性存储元件 103 布置在字线 105 和位线 106 之间，位线 106 布置在上部并沿图的左 - 右方向延伸。磁性存储元件 103 例如包括磁隧道结元件 (MTJ 元件)。

[0011] 磁性存储元件 103 通过沿水平方向的旁路线 (by-pass line) 111 和沿竖直方向的接触层 104 电连接到源区 107。

[0012] 通过使电流流到字线 105 和位线 106 将电流磁场施加到磁性存储元件 103，以反转磁性存储元件 103 的存储层的磁化的方向，从而执行信息记录。

[0013] 为了在磁性存储器（例如 MRAM 等）中稳定地保持记录的信息，记录信息的磁性层（存储层）需要具有一定程度的矫顽磁力。

[0014] 为了改写记录的信息，一定量的电流需要在地址线中流动。

[0015] 然而，由于地址线随着构成 MRAM 的元件的小型化而变得精密，难于使足够的电流流过。

[0016] 因此，作为能通过较小的电流量使磁化反转的结构，已经关注被配置为使用自旋注入产生的磁化反转的存储器（例如，参见日本未经审查专利公开 No. 2003-17782、美国专利 No. 6256223、日本未经审查专利公开 No. 2008-227388、PHYs. Rev. B, 54, 9353 (1996) 和

J. Magn. Mat., 159, L1 (1996))。

[0017] 执行自旋注入产生的磁化反转,使得通过磁性物质的自旋极化电子被注入另一磁性物质,以在另一磁性物质中带来磁化反转。

[0018] 例如关于巨磁阻效应元件(GMR元件)或磁隧道结元件(MTJ元件),通过使电流沿元件的膜表面的垂直方向流动,该元件的磁性层的至少部分的磁化方向可以被反转。

[0019] 此外,自旋注入产生的磁化反转的优点在于:即使当元件小型化时,可以不用增大电流而实施磁化反转。

[0020] 图14和15示出配置为使用上述的自旋注入产生的磁化反转的存储器装置的示意图。图14是立体图,图15是截面图。

[0021] 构成用于对每个存储器单元进行选择的选择晶体管的漏区58、源区57和栅电极51分别形成在由半导体基底60(例如硅基底等)的元件分离层52分开的部分中。其中,栅电极51还作为沿图14的前后方向延伸的字线。

[0022] 漏区58共同地形成在沿图14的左和右侧的选择晶体管中,并且线59连接到漏区58。

[0023] 具有存储层(其中磁化方向通过自旋注入反转)的存储元件53布置在源区57和位线56之间,位线56布置在上部并沿图14的左-右方向延伸。

[0024] 存储元件53例如包括磁隧道结元件(MTJ元件)。存储元件53具有两个磁性层61和62。在这两个磁性层61和62中,一个磁性层设为磁化固定层,其磁化方向是固定的,另一个磁性层设为磁化自由层,其存储层的磁化方向改变,即,存储层。

[0025] 存储元件53通过上侧和下侧的接触层54分别连接到位线56和源区57。因此,通过使电流流到存储元件53,存储层的磁化方向可以通过自旋注入而反转。

[0026] 相比图13所示的一般MRAM,配置为使用上述自旋注入产生的磁化反转的存储器装置具有装置结构可以简化的特征,并且由此可以具有高密度。

[0027] 相比通过外部磁场执行磁化反转的一般MRAM,该存储器装置的优点在于:通过使用由自旋注入产生的磁化反转,即使当发展元件的小型化时也不增加写入电流。

## 发明内容

[0028] 对于MRAM,写入线(字线和位线)与存储元件分开布置,通过使电流流过写入线产生的电流磁场执行信息的写入(记录)。鉴于此,可以使用于写入的充足量的电流流过写入线。

[0029] 同时,在配置为使用通过自旋注入的磁化反转的存储器装置的情况中,需要通过存储元件中流动的电流执行自旋注入,以使存储层的磁化方向反转。

[0030] 由于通过使电流直接流过存储元件,存储器单元择执执行信息的写操作(记录),存储器单元配置为将存储元件连接到选择晶体管,来选择执行写入的存储器单元。在该情况下,在存储元件中流动的电流的强度被限制到能在选择晶体管中流动的电流的大小(选择晶体管的饱和电流)。

[0031] 鉴于此,需要以低于选择晶体管的饱和电流的电流来执行写入,并通过提高自旋注入的效率来降低存储元件中流动的电流。

[0032] 为了放大读出信号,需要确保磁阻的高变化率。为此构造以下的存储元件是有效

的,在该存储元件中与存储层的两侧接触的中间层设为隧道绝缘层(隧道屏障层)。

[0033] 如上在将隧道绝缘层用作为中间层的情况下,对通过存储元件流动的电流进行限制,用于防止隧道绝缘层的介电质击穿。同样由此,需要抑制自旋注入期间的电流。

[0034] 为了降低电流值,由于电流值与存储层的膜厚成比例并与存储层的饱和磁化的平方成比例,可以对它们(膜厚和饱和磁化)进行调节(例如参见 F. J. Albert 等人, Appl. Phy. Lett., 77, 3809 (2000))。

[0035] 此外,美国专利申请公开 No. 2005-0184839 A1 描述了当记录材料的磁化量 ( $M_s$ ) 降低时可以降低电流值。

[0036] 然而,当没有存储由电流写入的信息时,不能获得非易失性存储器。换言之,需要确保存储层的热波动的稳定性(热稳定性)。

[0037] 在使用自旋注入的磁化反转的存储元件中,存储层的体积小于相关技术中的 MRAM 的体积。简单地考虑,热稳定性趋于降低。

[0038] 当不能确保存储层中的热稳定性时,磁化的反转方向由热量再次反转,并且变为写入误差。

[0039] 当使用自旋注入的磁化反转的存储元件的容量增大时,存储元件的体积进一步变小,因此确保热稳定性是重要任务。

[0040] 鉴于此,在使用自旋注入的磁化反转的存储元件中,热稳定性是十分重要的特征。

[0041] 因此,需要将通过自旋注入的磁化反转所需的电流的强度降低至等于或小于晶体管的饱和电流,并确保用于稳定地保持写入信息的热稳定性,使得配置为通过自旋注入使存储层的磁化方向反转的存储元件作为存储器。

[0042] 由上,降低通过自旋注入的磁化反转所需的电流,考虑降低存储层的饱和磁化量  $M_s$  并减薄存储层。例如,如美国专利申请公开 No. 2005-0184839 A1 中,对于存储层的材料使用具有低饱和磁化量  $M_s$  的材料是有效的。然而,当如上简单地使用具有低饱和磁化量  $M_s$  的材料时,很难确保用于稳定地保持信息的热稳定性。

[0043] 在本发明中,希望提供可以提高热稳定性而不增加写入电流的存储元件,以及具有该存储元件的存储器装置。此外,在本发明中,希望提供即使当构成存储层的磁性材料受到 350°C 或更高的热处理温度时也具有良好特征的存储元件。

[0044] 根据本发明的实施例,提供了一种存储元件,包括:存储层,其具有垂直于膜表面的磁化,并且所述存储层的磁化的方向根据信息而变化;磁化固定层,其具有垂直于膜表面的磁化,用作为存储在所述存储层中的信息的基准;以及由非磁性体形成的绝缘层,布置在所述存储层和所述磁化固定层之间,其中,所述磁化固定层具有非磁性层夹持在上、下铁磁性层之间的结构,所述上、下铁磁性层具有磁性反平行连接的层叠铁销结构,其中,通过沿着具有所述存储层、所述绝缘层和所述磁化固定层的层结构的层叠方向注入自旋极化电子,来改变所述存储层的磁化的方向,并且在所述存储层上执行信息的记录,其中,所述存储层接收到的有效反磁场的大小小于所述存储层的饱和磁化量。

[0045] 在所述存储元件中,形成其中非磁性层夹持在所述上铁磁性层与所述下铁磁性层之间的多个结构。

[0046] 在所述存储元件中,构成所述存储层和所述绝缘层的界面的铁磁性材料是 Co-Fe-B。

[0047] 在所述存储元件中,所述 Co-Fe-B 的成分可以为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ , 其中:  
 $0 \leq \text{Co}_x \leq 40, 60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$  并且  $0 < \text{B}_z \leq 30$ 。

[0048] 在所述存储元件中,所述 Co-Fe-B 的成分可以为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ , 其中:  
 $0 \leq \text{Co}_x \leq 40, 60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$  并且  $20 < \text{B}_z \leq 40$ 。

[0049] 在所述存储元件中,构成所述磁化固定层的铁磁性层的材料是 Co-Fe-B,成分可以为其中  $0 \leq \text{Co}_x \leq 40, 60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$  并且  $0 < \text{B}_z \leq 30$  的  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ ;或者成分可以为其中  $0 \leq \text{Co}_x \leq 40, 60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$  并且  $20 < \text{B}_z \leq 40$  的  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$  的 Co-Fe-B。

[0050] 在所述存储元件中,在磁化固定层的绝缘层侧上的非磁性层可以是 Ta。

[0051] 根据本发明的另一实施例,提供了一种存储器装置,包括:存储元件,其通过磁性体的磁化状态来保持信息;以及彼此相交的两种线,并且所述存储元件具有上述根据本发明的实施例的存储元件的结构,所述存储元件布置在所述两种线之间,并且通过所述两种线使电流沿所述层叠方向在所述存储元件中流动,以执行自旋极化电子的注入。

[0052] 根据上述本发明的实施例的存储元件的结构,提供了包括通过磁体的磁化状态来保持信息的存储层,通过中间层设置用于存储层的磁化固定层,中间层由绝缘体形成,通过沿着层叠方向注入自旋极化电子,来改变所述存储层的磁化方向,以在所述存储层上执行信息的记录,因此通过使电流沿层叠方向流动并注入自旋极化电子可以记录信息。

[0053] 所述存储层接收到的有效反磁场的大小小于所述存储层的饱和磁化量,存储层接收到的反磁场低,因此使存储层的磁化方向反转所需的写电流的量可以减小。

[0054] 另一方面,由于写电流量的量可以减小而不降低存储层的饱和磁化量,可以确保存储层的充分的热稳定性,将存储层的饱和磁化量设为充分的量。

[0055] 具体地,根据本发明的实施例的存储元件中,存储层和磁化固定层具有垂直于膜表面的磁化。具有垂直磁性各向异性比具有面内磁性各向异性更适于低能耗和高容量。原因是在自旋转矩磁化反转期间垂直磁化越过低能量屏障,并且由于垂直磁化膜具有的高磁性各向异性,有利于存储层中用于保持信息的热稳定性。

[0056] 根据本发明的实施例的存储器装置的上述结构,所述存储元件布置在所述两种线之间,并且通过所述两种线使电流沿所述层叠方向在所述存储元件中流动并执行自旋注入。因此,可以使电流通过所述两种线沿所述层叠方向在所述存储元件中流动,通过自旋注入执行记录信息。

[0057] 由于可以减小存储元件的写电流而不降低存储层的饱和磁化量,可以稳定地保持记录在存储元件上的信息并降低存储器装置的能耗。

[0058] 根据本发明,由于即使在存储层的饱和磁化量不减小的同时仍然可以减小存储元件的写电流,所以可以确保充分的热稳定性(信息保持能力)并构造特性平衡优良的存储元件。根据这样的结构,消除了操作误差,因此可以获得存储元件的充分的操作余量。

[0059] 具体地,构成所述存储层的铁磁性材料是 Co-Fe-B, Co-Fe-B 的成分可以为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ , 其中:  
 $0 \leq \text{Co}_x \leq 40, 60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$  并且  $0 < \text{B}_z \leq 30$ ;并且非常适于形成垂直磁化的存储层。

[0060] 考虑热处理温度是例如约  $350^\circ\text{C}$  至  $450^\circ\text{C}$  的相对高温,当 Co-Fe-B 的成分为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ , 其中:  
 $0 \leq \text{Co}_x \leq 40, 60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$  并且  $20 < \text{B}_z \leq 40$ ;构成存储层的铁磁性层材料即使在高温热处理中也呈现高隧道磁阻效应,因此是非常合适的。

[0061] 由于磁化固定层是层叠的铁销结构,可以加强磁化固定层的垂直磁性各向异性度提高存储元件的热稳定性。

[0062] 构成所述磁化固定层的铁磁性层的材料是 Co-Fe-B(与存储层的相同),Co-Fe-B 的成分可以为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ ,其中: $0 \leq \text{Co}_x \leq 40$ 、 $60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$  并且  $0 < \text{B}_z \leq 30$ ;并且非常适于形成垂直磁化的磁化固定层。

[0063] 考虑热处理温度是例如约 350℃ 至 450℃ 的相对高温,当 Co-Fe-B 的成分为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ ,其中: $0 \leq \text{Co}_x \leq 40$ 、 $60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$  并且  $20 < \text{B}_z \leq 40$ ;非常适于形成垂直磁化的磁化固定层。

[0064] 因此,可以实现以高可靠性稳定操作的存储器装置。

[0065] 写电流减小,从而降低存储元件中执行写入期间的能耗。

[0066] 由此,可以减小整个存储器装置的能耗。

## 附图说明

[0067] 图 1 是根据本发明的实施例的存储器装置的示意性结构的示意图;

[0068] 图 2 是示出实施例的存储元件的截面图;

[0069] 图 3 是示出实验中使用的存储元件的样品的层结构的示意图;

[0070] 图 4 是示出尺寸  $0.09 \times 0.18 \mu\text{m}$  的存储层的反转电流密度和 Co 量之间的关系的图;

[0071] 图 5 是示出尺寸  $0.09 \times 0.18 \mu\text{m}$  的存储层的热稳定性的指数和 Co 量之间的关系的图;

[0072] 图 6 是示出尺寸  $50\text{nm} \Phi$  的存储层的热稳定性的指数和 Co 量之间的关系的图;

[0073] 图 7 是示出实验中使用的存储元件的样品的层结构的示意图;

[0074] 图 8 是示出对于实施例的存储层的 Co-Fe-B 的每个成分的 TMR 根据热处理温度的变化的视图;

[0075] 图 9A、图 9B 和图 9C 是示出在关于实施例的存储层的 Co-Fe-B 通过 Co/Fe 比率改变 B 的浓度和热处理温度时,TMR 特性的测量结果的视图;

[0076] 图 10 是示出实验中使用的存储元件的样品的层结构的视图;

[0077] 图 11A 和图 11B 是示出实施例中磁化固定层的层叠的铁销结构的差别和基于形成存储元件的步骤的温度差别的热处理之间的关系的特性变化测试结果的视图;

[0078] 图 12A、图 12B 和图 12C 是示出基于实施例中磁化固定层的层叠的铁磁销结构中非磁性层的厚度的差别的特性变化测试结果的视图;

[0079] 图 13 是示意性示出相关技术中的 MRAM 的结构立体图;

[0080] 图 14 是通过使用自旋注入的磁化反转的存储器装置的示意性结构的示意图;并且

[0081] 图 15 是图 14 的存储器装置的截面图。

## 具体实施方式

[0082] 以下将基准附图详细描述实现本发明的实施例。

[0083] <1. 实施例的存储元件的概览>

[0084] <2. 实施例的存储层和磁化固定层的具体结构 1>

[0085] <3. 实施例的存储层和磁化固定层的具体结构 2>

[0086] <4. 实施例的磁化固定层的层叠的铁磁结构>

[0087] <5. 实施例的实验>

[0088] <6. 改变示例>

[0089] <1. 实施例的存储元件的概览>

[0090] 首先,将描述作为实施例的存储元件的概览。

[0091] 在本发明的实施例中,通过用上述自旋注入将存储元件的存储层的磁化方向反转,执行信息记录。

[0092] 存储层由例如铁磁性层的磁性物质构成,并在磁性物质的磁化状态(磁化的方向)下存储信息。

[0093] 尽管如下所述,存储元件例如采用图 2 的示例所示的层结构,包括存储层 17 和磁化固定层 15 来作为至少两个磁性层,还包括两个磁性层之间的绝缘层 16(隧道绝缘层),作为中间层。

[0094] 存储层 17 的磁化垂直于膜表面,并且磁化方向根据信息而改变。

[0095] 磁化固定层 15 的磁化垂直于膜表面,用作为存储在存储层 17 中的信息的基准。

[0096] 绝缘层 16 是非磁性介质,并且设置在存储层 17 和磁化固定层 15 之间。

[0097] 通过沿包括存储层 17、绝缘层 16 和磁化固定层 15 的层结构的层叠方向注入自旋极化电子,存储层 17 的磁化方向改变,以在存储层 17 上记录信息。

[0098] 通过自旋注入将磁性层(存储层 17)的磁化方向反转的基本操作使得强度等于或大于预定阈值的电流在巨磁阻效应元件(GMR 元件)或磁隧道结元件(MTJ 元件)形成的存储元件中沿垂直于膜表面的方向流动。此时,电流的极性(方向)取决于反转的磁化的方向。

[0099] 当绝对值小于阈值的电流流过时,不发生磁化反转。

[0100] 当磁性层的磁化方向通过自旋注入反转时,所需电流的阈值  $I_c$  一般表述如下:

$$[0101] \quad I_c = A \cdot \alpha \cdot M_s \cdot V \cdot H_d / 2 \eta$$

[0102] 其中,  $A$  是常数,  $\alpha$  是自旋制动常数,  $\eta$  是自旋注入率,  $M_s$  是饱和磁化量,  $V$  是存储层的体积,  $H_d$  是有效反磁场(diamagnetic field)。

[0103] 如公式中所述,通过控制存储层的体积  $V$ 、磁性层的饱和磁化量  $M_s$ 、自旋注入率  $\eta$  和自旋制动常数  $\alpha$ ,可以任意设定电流的阈值。

[0104] 严格说,当通过自旋转矩磁化反转将磁性层的磁化方向反转时,根据磁性层的易磁化轴是面内方向(in-plane direction)或垂直方向,所需电流的阈值  $I_c$  不同。

[0105] 实施例的存储元件是垂直磁化式。但是如果在相关技术的面内磁化式的存储元件的情况下,用于使磁性层的磁化方向反转的反转电流被设为  $I_{c\text{-para}}$ ,那么当执行从相同方向到相反方向的反转时(相同方向和相反方向是当磁化固定层的磁化方向被设为基准时存储层的磁化方向,相同方向由“平行(parallel)”表示,相反方向由“反平行(anti-parallel)”表示):

$$[0106] \quad I_{c\text{-para}} = (A \cdot \alpha \cdot M_s \cdot V / g(0) / P) (H_k + 2 \pi M_s)$$

[0107] 当执行从相反方向到相同方向的反转时:

[0108]  $I_{c\_para} = -(A \cdot \alpha \cdot M_s \cdot V / g(\pi) / P) (H_k + 2\pi M_s)$

[0109] 另一方面,如果示例中的垂直磁化式的存储元件的反转电流被设为  $I_{c\_perp}$ ,当执行从相同方向到相反方向的反转时,

[0110]  $I_{c\_perp} = (A \cdot \alpha \cdot M_s \cdot V / g(0) / P) (H_k - 4\pi M_s)$ ,

[0111] 当执行从相反方向到相同方向的反转时,

[0112]  $I_{c\_perp} = -(A \cdot \alpha \cdot M_s \cdot V / g(\pi) / P) (H_k - 4\pi M_s)$ 。

[0113] 其中,A是常数, $\alpha$ 是翻转(dumping)常数, $M_s$ 是饱和磁化量,V是元件体积,P是自旋极化率, $g(0)$ 和 $g(\pi)$ 是与分别沿相同方向和相反方向传递到另一个磁性层的自旋转矩的效率相对应的系数, $H_k$ 是磁性各向异性的(参照Nature Materials.,5,210(2006))。

[0114] 在每个公式中,当垂直磁化式的( $H_k - 4\pi M_s$ )和面内磁化式的( $H_k + 2\pi M_s$ )彼此比较时,可以理解垂直磁化式更适于降低记录电流。

[0115] 示例的存储元件通过隧道磁阻效应引起的阻抗不同执行信息读取。换言之,当隧道磁阻效应大时,输出变大。隧道磁阻效应 TMR 利用自旋极化率 P 由公式 (1) 表示。

[0116]  $TMR(\%) = P_1 P_2 / (1 - P_1 P_2) \times 100 \dots$  公式 (1)

[0117] 这里, $P_1$ 是磁化固定层的自旋极化率, $P_2$ 是记录层的自旋极化率。在公式(1)中,可以理解,当自旋极化率变高时,TMR变大。

[0118] 基于与关于反转电流的公式的比较,还可以理解,低电流和高输出(=高 TMR)是一致的关系。

[0119] 在实施例中,存储元件配置为包括在磁化状态下保持信息的磁性层(存储层 17)和磁化方向是固定的磁化固定层 15。

[0120] 为了可以呈现为存储器,需要保持写入的信息。保持信息的能力基于热稳定性的指数  $\Delta$  ( $KuV/k_B T$ ) 的值来确定。该  $\Delta$  由以下的公式 (2) 表示。

[0121]  $\Delta = KV/k_B T = M_S \cdot V \cdot H_k \cdot (1/2k_B T) \dots$  公式 (2)

[0122] 其中, $H_k$ 是有效各向异性磁场, $k_B$ 是波尔兹曼常数,T是温度, $M_s$ 是饱和磁化量,V是存储层的体积。

[0123] 有效各向异性磁场  $H_k$  接收例如形状磁性各向异性、感应磁性各向异性、晶体磁性各向异性等的影响。当假定单磁域的相干转动模型时等价于矫顽磁力。

[0124] 热稳定性的指数  $\Delta$  和电流的阈值  $I_c$  通常是平衡关系。鉴于此,对于维持存储器特征,许多情况下兼容性是个问题。

[0125] 关于改变存储层 17 的磁化状态的电流的阈值,特别是基本上椭圆形的 TMR 元件中(其中存储层 17 的厚度是 2nm,平面模式是 100nm×150nm),正侧的阈值  $+I_c = +0.5\text{mA}$ ,负侧的阈值是  $-I_c = -0.3\text{mA}$ ,此时的电流密度是约  $3.5 \times 10^6 \text{A/cm}^2$ 。这些与关于  $I_c$  的上述公式相符。

[0126] 对于由电流磁场执行磁化反转的一般 MRAM,需要几个 mA 或更大的写电流。

[0127] 因此,当执行自旋注入的磁化反转时,写电流的阈值如上所述充分小,从而有效降低集成电路的能量消耗。

[0128] 由于一般 MRAM 中必需的用于产生电流磁场的线(图 13 中的线 105)不是必须的,相比一般 MRAM 在集成度方面是有益的。

[0129] 在通过自旋注入执行磁化反转时,通过使电流直接在存储元件中流动来执行信息

写入（记录）。因此，为了选择执行写入的存储器单元，通过将存储元件连接到选择晶体管来构造存储器单元。

[0130] 在该情况下，从存储元件通过的电流由可以在选择晶体管中流动的电流的大小（选择晶体管的饱和电流）来限制。

[0131] 为了使基于自旋注入的磁化反转的电流阈值  $I_c$  比选择晶体管的饱和电流小，优选地从  $I_c$  的公式中减小存储层 17 的饱和磁化量  $M_s$ 。

[0132] 然而，当简单地减小饱和磁化量  $M_s$  时（例如，美国专利申请公开 No. 2005-0184839 A1），存储层 17 的热稳定性被严重削弱，从而不能实现作为存储器的功能。

[0133] 为了构成存储器，需要热稳定性的指数  $\Delta$  具有等于或大于一定水平的大小。

[0134] 本申请的发明人进行的各种检测。作为结果，例如发现通过选取 Co-Fe-B 的成分作为构成存储层 17 的铁磁性层，存储层 17 接收的有效反磁场 ( $M_{\text{effective}}$ ) 的大小小于存储层 17 的饱和磁化量  $M_s$ 。

[0135] 通过使用上述的铁磁性材料，存储层 17 接收的有效反磁场的大小被配置为小于存储层 17 的饱和磁化量  $M_s$ 。

[0136] 因此，由于存储层 17 接收的反磁场的大小可以减小，获得以下效果： $I_c$  的公式表示的电流的阈值  $I_c$  降低，而不减小由公式 (2) 表示的热稳定性  $\Delta$ 。

[0137] 此外，发明人发现在被选择的 Co-Fe-B 的成分的有限的成分范围内沿膜表面垂直方向使 Co-Fe-B 磁化，从而即使在可以实现吉比特 (Gbit) 级容量的小存储元件中也能确保充分的热稳定性。

[0138] 从而，在吉比特级自旋注入式磁化反转存储器中保持热稳定性的状态中，可以形成稳定的存储器，其中可以用低电流执行信息写入。

[0139] 在实施例中，存储层 17 接收的有效磁场的大小配置为小于存储层 17 的饱和磁化量  $M_s$ ，换言之，存储层 17 的有效反磁场和饱和磁化量  $M_s$  的比例的值设为小于 1。

[0140] 考虑选择晶体管的饱和电流值，利用由绝缘体形成的隧道绝缘层（绝缘层 16）构成磁隧道结 (MTJ) 元件，作为存储层 17 和磁化固定层 15 之间的非磁性中间层。

[0141] 因为相比利用非磁性传导层构造巨磁阻效应 (GMR) 元件的情况，利用隧道绝缘层构造磁隧道结 (MTJ) 元件可以增加磁致电阻变化率 (MR 比率)，从而增加读出信号的强度。

[0142] 具体地，将氧化镁 (MgO) 用作为隧道绝缘层 16 的材料，相比使用目前一般使用的氧化铝的情况，磁致电阻变化率 (MR 比率) 可以增加。

[0143] 此外，自旋注入效率一般取决于 MR 比率，并且自旋注入效率随 MR 比率变大而提高，从而降低磁化反转的电流密度。

[0144] 因此，如果氧化镁作为用作中间层的隧道绝缘层 16 的材料，使用上述存储层 17，可以减小基于自旋注入的电流写入阈值，并且能以低电流执行信息写入（记录）。此外，可以增加读出信号的强度。

[0145] 因此，可以确保 MR 比率 (TMR 比率) 并减小基于自旋注入的写入电流阈值，从而能以低电流执行信息写入（记录）。此外，可以增加读出信号的强度。

[0146] 当如上所述隧道绝缘层 16 由氧化镁 (MgO) 膜形成时，MgO 膜结晶，更优选的是保持沿 (001) 方向的结晶对齐特性。

[0147] 在实施例中，存储层 17 和磁化固定层 15 之间的中间层（隧道绝缘层 16）可以配

置为不仅可以由氧化镁形成,而且可以由各种绝缘体、感应体和半导体(例如包括氧化铝、氮化铝、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgF}_2$ 、 $\text{CaF}$ 、 $\text{SrTiO}_2$ 、 $\text{AlLaO}_3$ 、 $\text{Al-N-O}$ 等)形成。

[0148] 需要将隧道绝缘层 16 的面积阻抗值控制为等于或小于几个  $\Omega \mu\text{m}^2$ ,以获得通过自旋注入反转存储层 17 的磁化方向所需的电流密度。

[0149] 在由  $\text{MgO}$  膜形成的隧道绝缘层 16 中,需要将  $\text{MgO}$  膜的厚度设为等于或小于 1.5nm,以使面积阻抗值在上述范围内。

[0150] 希望减小存储元件,使得存储层 17 的磁化方向容易通过小电流而反转。

[0151] 鉴于此,存储元件的面积优选设为等于或小于  $0.01 \mu\text{m}^2$ 。

[0152] 实施例的存储层 17 可以与具有不同成分的另一铁磁性层直接重叠。铁磁性层和软磁性层可以重叠,或通过软磁性层或非磁性层重叠多个铁磁性层。即使如上述执行重叠,可以获得本发明的效果。

[0153] 具体地,在通过非磁性层重叠多个铁磁性层的结构中,可以调整铁磁性层之间相互作用的强度。因此,可以获得以下效果:磁化反转电流可以得到抑制,从而即使当存储元件的尺寸等于或小于亚微型单元时也不会增大。作为该情况下非磁性层的材料,可以使用  $\text{Ru}$ 、 $\text{Os}$ 、 $\text{Re}$ 、 $\text{Ir}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Ag}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Bi}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{B}$ 、 $\text{C}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{Nb}$  或其合金。

[0154] 优选地,磁化固定层 15 和存储层 17 具有沿一个方向的各向异性。

[0155] 优选地,磁化固定层 15 和存储层 17 各自的膜厚优选是 0.5nm 至 30nm。

[0156] 存储元件的另一种结构可以与相关技术中通过自旋注入记录信息的存储元件的结构相同。

[0157] 通过仅使用铁磁性层或使用反铁磁性层和铁磁性层的反铁磁性结合,磁化固定层 15 的磁化方向可以配置为固定的。

[0158] 磁化固定层 15 可以具有由单个铁磁性层或层叠的铁销(ferri-pin)结构形成的结构,该铁销结构中多个铁磁性层通过非磁性层重叠。

[0159] 作为构成层叠的铁销结构的磁化固定层 15 的铁磁性层的材料,可以使用  $\text{Co}$ 、 $\text{CoFe}$  或  $\text{CoFeB}$  等。此外,作为非磁性层的材料,可以使用  $\text{Ru}$ 、 $\text{Re}$ 、 $\text{Ir}$  或  $\text{Os}$  等。

[0160] 作为反铁磁性层的材料,可以使用例如  $\text{FeMn}$  合金、 $\text{PtMn}$  合金、 $\text{PtCrMn}$  合金、 $\text{NiMn}$  合金、 $\text{IrMn}$  合金、 $\text{NiO}$  或  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的磁性体等。

[0161] 通过将例如  $\text{Ag}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{Bi}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{B}$ 、 $\text{C}$ 、 $\text{O}$ 、 $\text{N}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{Ir}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Mo}$  或  $\text{Nb}$  等的非磁性元素加到上述磁性体,可以调节磁性特征,或调节其它各种物理特性,例如结晶结构、结晶特性及其稳定性。

[0162] 即使在将存储层 17 布置在磁化固定层 15 下方的结构或将存储层 17 布置在磁化固定层 15 上方的结构中,存储元件的膜结构都没有问题。此外,磁化固定层 15 设置在存储层 17 的上方和下方的所谓的双重结构可以被采用而没有问题。

[0163] 作为读取记录在存储元件的存储层 17 中的信息的方法,存储元件的存储层 17 通过薄绝缘膜提供磁性层(作为信息的基准),通过流过绝缘层 16 的铁磁性隧道电流可以读取信息,并且可以通过磁阻效应读取信息。

[0164] <2. 实施例的存储层和磁化固定层的具体结构 1>

[0165] 接着,将描述本发明的实施例的具体结构。

[0166] 图 1 示出作为一种具体结构的存储器装置的示意性结构图(立体图)。

[0167] 在存储器装置中,将存储元件 3(可以在磁化状态下保持信息)布置在相互垂直的两种地址线(例如字线和位线)的交叉点附近。

[0168] 换言之,构成用于对每个存储器单元进行选择的选择晶体管的漏区 8、源区 7 和栅电极 1 形成在由半导体基底 10(例如硅基底等)的元件分离层 2 分开的部分中。栅电极 1 还作为沿图的前后方向延伸的一种地址线(例如字线)。

[0169] 漏区 8 共同地形成在图的左和右选择晶体管中,并且漏区 8 连接到线 9。

[0170] 存储元件 3 布置在源区 7 和另一个地址线(例如位线)6 之间,位线 6 布置在上侧并沿图的左右方向延伸。存储元件 3 包括存储层,由其中磁化方向通过自旋注入反转的铁磁性层形成。

[0171] 存储元件 3 布置在两种地址线 1 和 6 的交叉点附近。

[0172] 存储元件 3 通过上、下接触层 4 分别连接到位线 6 和源区 7。

[0173] 因此,通过使电流通过两种地址线 1 和 6 沿上、下方向在存储元件 3 中流动,存储层的磁化方向可以通过自旋注入而反转。

[0174] 图 2 示出实施例的存储装置的存储元件 3 的截面图。

[0175] 如图 2 所示,存储元件 3 通过基础层 14、磁化固定层 15、绝缘层 16、存储层 17 和帽层(cap layer)18 以从下层开始的顺序重叠而形成。

[0176] 在该情况下,磁化固定层 15 布置在存储层 17 的下层侧,存储层 17 中磁化方向 M17 通过自旋注入而反转。

[0177] 在自旋注入式磁化反转存储器中,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 的相对角度来限定。

[0178] 用作为隧道屏障(tunnel barrier)层(隧道绝缘层)的绝缘层 16 布置在存储层 17 和磁化固定层 15 之间,MTJ 元件由存储层 17 和磁化固定层 15 构成。

[0179] 基础层 14 形成在磁化固定层 15 下方,帽层 18 形成在存储层 17 上。

[0180] 存储层 17 包括具有磁矩的铁磁性体,其磁化方向 M17 沿层表面垂直方向自由地改变。磁化固定层 15 包括具有磁矩的铁磁性体,其磁化方向 M15 沿膜表面垂直方向是固定的。

[0181] 通过具有单轴各向异性的存储层 17 的磁化方向来执行信息的存储。通过沿膜表面垂直方向施加电流以引起自旋转矩磁化反转来执行写入。如此,在其中磁化方向通过自旋注入而反转的存储层 17 中,磁化固定层 15 布置在存储层 17 的下层,并用作为存储层 17 中存储的信息(磁化方向)的基准。

[0182] 在实施例中,Co-Fe-B 用作为存储层 17 和磁化固定层 15。

[0183] 具体地,Co-Fe-B 的成分设为  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ , 其中  $0 \leq \text{Co}_x \leq 40, 60 \leq \text{Fe}_y \leq 100, 0 < \text{B}_z \leq 30$ 。

[0184] 磁化固定层 15 用作为信息的基准,因此不优选磁化方向通过记录或读取而改变。然而,该方向不需要固定为具体方向。优选比存储层 17 进一步增加矫顽磁力,使膜厚更厚,或增加磁翻转常数,从而比存储层 17 更不容易运动。

[0185] 当磁化固定时,通过使反铁磁性体(例如 PtMn, IrMn 等)与磁化固定层 15 接触,或通过与磁性体(其通过例如 Ru 等的非磁性体与该反铁磁性体进行接触)结合,磁化固定层 15 可以被间接地固定。

[0186] 在实施例中,具体地,存储元件 3 的存储层 17 的成分被调节为使得存储层 17 接收

的有效反磁场小于存储层 17 的饱和磁化量  $M_s$ 。

[0187] 换言之,如上所述,存储层 17 的铁磁性材料的成分 Co-Fe-B 被选择,并且存储层 17 接收的有效反磁场的大小降低到小于存储层 17 的饱和磁化量  $M_s$ 。

[0188] 在实施例中,当作为中间层的绝缘层 16 是氧化镁层时,磁致电阻变化率 (MR 比率) 可以升高。

[0189] 通过提高上述 MR 比率,可以提高自旋注入的效率,并且可以降低用于反转存储层 17 的磁化方向 M17 所需的电流密度。

[0190] 通过在真空装置中连续地形成基础层 14 至帽层 18,然后通过例如刻蚀等过程形成存储元件 3 的图案,可以制造实施例的存储元件 3。

[0191] 根据上述实施例,由于存储元件 3 的存储层 17 配置为使得存储层 17 接收的有效反磁场的大小比存储层 17 的饱和磁化量  $M_s$  小,存储层 17 接收的反磁场降低,因此可以减小反转存储层 17 的磁化方向 M17 所需的写电流。

[0192] 另一方面,由于即使存储层 17 的饱和磁化量  $M_s$  不降低与可以降低写电流,所以可以充分确存储层 17 的热稳定性,其中存储层 17 的饱和磁化量  $M_s$  是充分的量。

[0193] 如上所述,由于作为信息保持能力的热稳定性可以被充分地确保,所以可以构成特性平衡优良的存储元件 3。

[0194] 因此,可以充分获得存储元件 3 的操作余量,存储元件 3 可以稳定地操作,消除了操作误差。

[0195] 因此,可以实现以高可靠性稳定操作的存储器装置。

[0196] 通过减小写电流,可以降低在存储元件 3 中执行写入时的能量消耗。

[0197] 因此,在存储器单元由实施例的存储元件 3 构造的存储器装置中,整体能量消耗可以降低。

[0198] 因此,由于可以实现以高可靠性稳定操作的存储器装置,可以降低具有存储元件 3 的存储器装置中的能量消耗。

[0199] 包括图 2 所示的存储元件 3 和图 1 所示的结构的存储器装置优势在于在存储器装置的制造过程中可以应用一般的半导体 MOS 形成过程。

[0200] 因此,实施例的存储器装置可以用作为一般用途的存储器。

[0201] <3. 实施例的存储层和磁化固定层的具体结构 2>

[0202] 将描述实施例的存储层和磁化固定层的另一具体结构。由于实施例的存储器装置和存储元件 3 的结构示例与图 1 和图 2 中的相同,将不重复描述。

[0203] 在实施例中,类似于具体结构 1,使用 Co-Fe-B 作为存储层 17 和磁化固定层 15,但是 Co-Fe-B 成分是范围为  $0 \leq \text{Co}_x \leq 40$ 、 $60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$ 、且  $20 < B_z \leq 40$  的  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ 。

[0204] 当考虑制造自旋注入式磁化反转存储器作为半导体装置时,希望构成存储元件 3 的磁性材料在半导体过程可以接受的温度范围内呈现优良特性。

[0205] 例如,由于施加到半导体过程(对于硅基底进行,到其通过所有过程之后成为芯片)的热载荷等于或大于  $350^\circ\text{C}$ 。因此,考虑这个事实,构成存储元件 3 的磁性材料需要即使在经历过等于或大于  $350^\circ\text{C}$  的热处理后也呈现优良特性。

[0206] 另一方面,操作存储器装置所需的晶体管暴露到更高的温度(例如等于或大于  $450^\circ\text{C}$ )时,其特性劣化。鉴于此,在被加热到例如  $450^\circ\text{C}$  至  $500^\circ\text{C}$  等的高温的状态中显示良

好特性的磁性材料也不优选。

[0207] 因此,当考虑制造自旋注入式磁化反转存储器时,需要构成存储元件 3 的磁性材料在等于或大于 350℃并小于 450℃的温度范围内展现良好的特征。

[0208] 当要考虑关于半导体过程和热量之间的亲和性时,由于一般垂直磁化材料的磁力和 TMR 特性在等于或高于 250℃的温度时劣化,或者磁性在等于或高于 500℃的高温时基本上消失,很难处理垂直磁化膜。

[0209] 然而,如上所述垂直磁化膜适于大容量和低能耗。因此,为在与半导体过程具有高亲和性的热处理条件下自旋注入式磁化反转存储器(显示低反转电流和高输出的特性)开发垂直磁化膜是重要的。

[0210] 第二实施例基于以下认识:在使用上述适于大容量和低能耗的具有垂直磁化各向异性的存储元件 3 的存储器装置中,需要在等于或大于 350℃并小于 450℃的温度范围的热处理中确保高的磁致电阻变化率。

[0211] 如上述,希望采用垂直磁化式以降低用于存储的电流。此外,由于垂直磁化膜一般可以比面内磁化膜保持高的磁性各向异性,因此利于将上述热稳定性的指数  $\Delta$  维持为高。

[0212] 有几种具有垂直各向异性的磁性材料,包括稀土过渡金属合金(TbCoFe 等)、金属多层膜(Co/Pd 多层膜等)、常规合金(FePt 等)、使用氧化物和磁性金属之间的界面各向异性的材料(Co/MgO 等)。然而,稀土过渡金属合金在合金通过加热扩散或结晶时损失垂直磁化各向异性。因此,该合金不优选作为用于自旋注入式磁化反转存储器的材料。此外,由于公开了磁性多层膜也通过加热而扩散,从而削弱垂直磁性各向异性,并且面心立方体的(111)方向用于展现垂直磁性各向异性。因此,很难实现布置在附近的高极化率层(例如 MgO 或 Fe、CoFe、Co-Fe-B 等)所需的(001)方向。

[0213] L10 常规合金在高温时稳定,并显示沿(001)方向的垂直磁性各向异性,从而不发生上述问题。但是该合金在制造过程中需要通过加热到足够高的温度(等于或大于 500℃),或通过在制造后以等于或大于 500℃的高温执行热处理,来规则地布置原子,因此该合金与半导体过程具有低亲和性。此外,可能发生扩散或增加界面粗糙,扩散对层叠膜的其它部分(例如隧道屏障)不是优选的。

[0214] 利用界面磁性各向异性的材料(即,在作为隧道屏障的 MgO 上重叠 Co 基或 Fe 基的材料)不容易具有任何上述问题,并且鉴于此,该材料有望成为用于自旋注入式磁化反转存储器的存储层的材料。

[0215] 本申请的发明人进行了研究。作为结果,在由具有范围在  $0 \leq \text{Co}_x \leq 40$ 、 $60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$  且  $20 < B_z \leq 40$  的  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$  的成分的 Co-Fe-B 构成的磁性材料的情况下,即使在热处理温度等于或大于 350℃的情况下,也可以将上述表示反转电流的公式中的自旋极化率 P 保持为高。

[0216] 高输出元件具有高自旋极化率 P,因此根据实施例可以实现低反转电流。

[0217] 通过使用具有高磁性各向异性的垂直磁化材料,能以高输出和低能耗提供自旋注入式磁化反转元件(存储元件 3),而不牺牲热稳定性。

[0218] 第二实施例中存储装置和存储元件 3 的结构与图 1 和图 2 中的相同,但是存储元件 3 的存储层 17 采用上述成分。

[0219] 换言之,根据第二实施例的存储元件,包括在磁性体的磁化状态下保持信息的存

储层 17,通过作为中间层的绝缘层 16 为存储层 17 提供磁化固定层 15。通过沿层叠方向注入自旋极化的电子,沿膜表面垂直方向磁化的存储层 17 的磁化方向发生改变,从而执行在存储层 17 上的信息记录。例如通过使用上述成分的 Co-Fe-B 作为构成存储层 17 的铁磁性层材料,即使在高温热处理时也可以获得高隧道磁致电阻效应和低反转电流的特性。

[0220] 因此,即使在高温热处理时也可以得到具有高输出和低电流的磁化反转。

[0221] 在使用存储元件 3 的存储器装置中,电流通过两种线(图 1 中的线 1 和 6)沿层叠方向在存储元件 3 中流动并且发生自旋迁移。因此,通过使电流通过两种线沿层叠方向在存储元件 3 中流动引起自旋转矩磁化反转,可以执行信息记录。

[0222] 在第二实施例中,即使在高温热处理下也可以获得高输出和低电流的操作特性,因此可以配置特性均衡方面优良的存储元件 3。

[0223] 由于使用具有高磁性各向异性的垂直磁化膜,信息的热稳定性不劣化。

[0224] 因此,可以获得存储元件 3 的充足的操作余量并稳定地操作存储元件 3,消除操作误差。

[0225] 此外,由于材料在等于或大于 350℃并低于 450℃的范围的高温热处理中展现良好的特性,所述与半导体过程的亲和性很高。

[0226] 由于减小了用于存储元件 3 的写电流,所以可以减小存储元件的能量消耗。

[0227] 因此,可以减小整个存储器的能量消耗,该存储器的存储器单元由实施例的存储元件 3 构成。

[0228] 因此,可以实现以高可靠性稳定操作的存储器。

[0229] 具有图 2 所示的存储元件 3 和图 1 所示的结构存储器具有以下优势:在制造存储器时可以应用一般的半导体 MOS 形成过程。

[0230] 因此,实施例的存储器可以用作为一般用途的存储器。

[0231] 磁化固定层 15 可以采用 Co-Fe-B 的上述成分。

[0232] 即使在具体示例 2 的实施例中,当氧化镁层用于作为中间层的绝缘层 16 时,可以提高磁致电阻变化率(MR 比率)。

[0233] 通过提高 MR 比率,提高了自旋注入效率,可以进一步降低用于使存储层 17 的磁化方向 M17 反转的电流密度。

[0234] 通过在真空装置中相继形成基础层 14 到帽层 18,然后用刻蚀等过程形成存储元件 3 的图案,可以制造存储元件 3。

[0235] <4. 实施例的磁化固定层的层叠的铁销结构>

[0236] 将描述实施例的磁化固定层的层叠的铁销结构。实施例的存储器装置和存储元件 3 的结构示例与图 1 和图 2 中的相同,不重复其描述。

[0237] 磁化固定层 15 作为存储层 17 所存储的信息存储的基准。因此,在磁化固定层 15 中,通过记录到存储层 17 和从存储层 17 读取,磁化方向可以不改变,不需要将磁化方向一定固定在特定方向。

[0238] 在磁化固定层 15 的磁化特性中,其存储能力可以大于存储层 17,膜厚可以大或磁阻尼常数可以大,从而磁化特性优选比存储层 17 的磁化特性更不容易移动。

[0239] 可以想到磁化固定层 15 的结构是层叠的铁销结构以稳定地固定磁化固定层 15 的磁化。即,非磁性层夹持在上下铁磁性层之间,上下铁磁性层反平行地磁连接。夹持在上下

铁磁性层（其反平行地磁连接）之间的多个非磁性层可以重叠。

[0240] 因此，可以阻挡由磁化固定层 15 引起的漏磁场，并加强磁化固定层 15 的垂直磁性各向异性。

[0241] 作为非磁性材料层的材料，可以使用上述的 Ru、Re、Ir 和 Os 等。

[0242] 作为铁磁性层的材料，可以使用 Co-Fe-B。Co-Fe-B 的成分是  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ ，其中  $0 \leq \text{Co}_x \leq 40$ 、 $60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$ 、 $0 < \text{B}_z \leq 30$ ，并且该成分优选形成垂直磁化的磁化固定层。

[0243] 当热处理温度是约 350 °C 至 450 °C 的相对高温时，铁磁性层材料是 Co-Fe-B，Co-Fe-B 的成分是  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$ ，其中  $0 \leq \text{Co}_x \leq 40$ 、 $60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$ 、 $0 < \text{B}_z \leq 30$ ，并且该成分优选形成垂直磁化的磁化固定层。

[0244] 在其中非磁性层夹持在上下铁磁性层之间的多个结构中，优选地在绝缘层侧上构成夹持结构的非磁性层的材料是 Ta。

[0245] 不限于 Ta，可以使用 Ru、Os、Re、Ir、Au、Ag、Cu、Al、Bi、Si、B、C、Cr、Pd、Pt、Zr、Hf、W、Mo、Nb 或其合金。可以利用它们调节磁性特性。

[0246] <5. 实施例的实验>

[0247] 在实施例的存储元件的结构中，具体选择构成存储层 17 的铁磁性层的材料，存储层 17 接收到的有效反磁场的大小被调节，制备了存储元件的样品，然后检验其特性。

[0248] 在实际存储器装置中，如图 1 所示，除存储元件 3 外，还具有切换半导体电路等。但是为了检测存储层 17 的磁化反转特征的目的，本文中仅对只形成有存储元件的晶圆进行评论。

[0249] 实验 1

[0250] 在厚度 0.725mm 的硅基底上形成厚度 300nm 的热氧化膜，在其上形成具有图 2 所示的结构的存储元件 3。

[0251] 具体地，在具有图 2 所示的结构的存储元件 3 中，每层的材料和膜厚如选取为如图 3 所示。

[0252] 基础层 14：具有膜厚 10nm 的 Ta 膜和膜厚 25nm 的 Ru 膜的层叠层

[0253] 磁化固定层 15：膜厚 2.5nm 的 Co-Fe-B 膜

[0254] 隧道绝缘层 16：具有膜厚 0.9nm 的氧化镁膜

[0255] 存储层 17：具有与磁化固定层相同成分的 Co-Fe-B 膜

[0256] 帽层 18：具有膜厚 3nm 的 Ta 膜、膜厚 3nm 的 Ru 膜和膜厚 3nm 的 Ta 膜的层叠层

[0257] 每个层如上选择，并且图中未示出的膜厚 100nm 的 Cu 膜（将作为后述的字线）布置在基础层 14 和硅基底之间。

[0258] 在上述膜结构中，存储层 17 的铁磁性层具有 Co-Fe-B 的三元素基础合金的材料，并且铁磁性层的膜厚固定为 2.0nm。

[0259] 除氧化镁膜形成的绝缘层 16 外的每个层使用 DC 磁控溅射方法形成。

[0260] 由氧化镁 (MgO) 膜形成的绝缘层 16 使用 RF 磁控溅射方法形成。

[0261] 在存储元件 3 的每个层形成之后，在磁场中的热处理炉中执行热处理。

[0262] 接下来，字线部分由光刻法掩模后，通过用 Ar 等离子体对层叠膜的、字线以外的部分执行选择刻蚀形成字线（下电极）。

[0263] 此时,除字线以外的部分,执行刻蚀达基底的 5nm 深度。

[0264] 之后,通过电子束打印装置形成存储元件 3 的图案的掩模,并且对层叠膜执行选择刻蚀以形成存储元件 3。除存储元件 3 的部分外,刻蚀一直执行到字线的 Cu 层上方。

[0265] 在用于特性评估的存储元件中,由于需要使足够的电流在存储元件中流动以产生的磁化反转所需的自旋转矩,需要抑制隧道绝缘层的阻抗值。在存储元件 3 的图案中,存储元件 3 的面积阻抗值 ( $\Omega \mu m^2$ ) 为  $20 \Omega \mu m^2$ ,形成为短轴  $0.09 \mu m$  并且长轴  $0.18 \mu m$  的椭圆形。

[0266] 接下来,通过溅射厚度约 100nm 的  $Al_2O_3$ ,除存储元件 3 外的部分被绝缘。

[0267] 之后,使用光刻法形成用作为上电极的位线和用于测量的垫。

[0268] 这样,制备了存储元件 3 的样品。

[0269] 然后,根据上述制造方法,制备存储元件 3 的每个样品,其中改变存储层 17 的铁磁性层的 Co-Fe-B 合金的成分。

[0270] 在 Co-Fe-B 合金的成分中,CoFe 和 B 的成分比(原子%)固定到 80 : 20,CoFe 中 Co 的成分比例 x(原子%)改变到 90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10% 和 0%。

[0271] 如上所述,对于以上制备的存储元件 3 的每个样品,执行以下的特征评估。

[0272] 在测量之前,磁场从存储元件 3 的外侧施加,使得可以将反转电流的正方向和负方向的值控制为对称。

[0273] 施加到存储元件 3 的电压设为 1V,其在绝缘层 16 不损坏的范围内。

[0274] (饱和磁化量的测量)

[0275] 使用振荡样品磁力计通过 VSM 测量饱和磁化量  $M_s$ 。

[0276] (有效反磁场的测量)

[0277] 作为测量有效反磁场的样品,形成构成存储元件 3 的层与上述存储元件 3 的样品分别形成,并且产生层形成在  $20mm \times 20mm$  见方的平面图案中。

[0278] 然后通过 FMR(铁磁性谐振)测量获得有效反磁场  $M_{effective}$  的大小。

[0279] 通过以下公式 (3) 获得任意外磁场  $H_{ex}$ (通过 FMR 测量获得)的共振频率  $f_{FMR}$ 。

$$[0280] \quad f_{FMR} = \gamma' \sqrt{4\pi M_{effective} (H_K + H_{ex})} \dots \text{公式 (3)}$$

[0281] 其中,公式 (3) 中的  $M_{effective}$  可以由  $4\pi M_{effective} = 4\pi M_s - H_{\perp}$  表示 ( $H_{\perp}$  是垂直于膜表面的各向异性磁场)。

[0282] (反转电流值和热稳定性的测量)

[0283] 为了评估实施例的存储元件 3 的写特征而测量反转电流值。

[0284] 使具有脉冲宽度  $10 \mu s$  至  $100ms$  的电流在存储元件 3 中流动,然后测量存储元件 3 的阻抗值。

[0285] 通过改变存储元件 3 中流过的电流量来获得使存储元件 3 的存储层 17 的磁化方向 M17 反转的电流值。将电流值对脉冲宽度的依赖性插入到  $1ns$  的脉冲宽度外而获得的电流值设为反转电流值。

[0286] 反转电流值对脉冲宽度的依赖性的倾度对应于上述存储元件 3 的热稳定性的指数 ( $\Delta$ )。因为反转电流值不被脉冲宽度改变(倾度小),这意味着相对热量的干扰具有强

抗性。

[0287] 考虑存储元件 3 中的不均衡,制备了 20 个相同结构的存储元件 3,并且执行上述测量,以获得反转电流值和热稳定性指数  $\Delta$  的平均值。

[0288] 基于由测量获得的反转电流值的平均值和存储元件 3 的平面图案的面积来计算反转电流密度  $J_{c0}$ 。

[0289] 在存储元件 3 的样品中,表 1 示出存储层 17 的 Co-Fe-B 合金的成分、饱和磁化量  $M_s$  和有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  的大小的测量结果,以及饱和磁化量和有效反磁场的大小的比率  $M_{\text{effective}}/M_s$ 。这里,表 1 公开的存储层 17 的 Co-Fe-B 合金的 Co 量由原子%表示。

[0290] 表 1

[0291]

|                                                    | $M_s$ (emu/cc) | $M_{\text{effective}}$ (emu/cc) | $M_{\text{effective}}/M_s$ |
|----------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------|
| $(\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10})_{80}\text{B}_{20}$ | 960            | 1210                            | 1.26                       |
| $(\text{Co}_{80}\text{Fe}_{20})_{80}\text{B}_{20}$ | 960            | 1010                            | 1.05                       |
| $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{80}\text{B}_{20}$ | 1040           | 900                             | 0.87                       |
| $(\text{Co}_{60}\text{Fe}_{40})_{80}\text{B}_{20}$ | 1200           | 830                             | 0.69                       |
| $(\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50})_{80}\text{B}_{20}$ | 1300           | 690                             | 0.53                       |
| $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{60})_{80}\text{B}_{20}$ | 1300           | 500                             | 0.38                       |
| $(\text{Co}_{30}\text{Fe}_{70})_{80}\text{B}_{20}$ | 1260           | 390                             | 0.31                       |
| $(\text{Co}_{20}\text{Fe}_{80})_{80}\text{B}_{20}$ | 1230           | 360                             | 0.29                       |
| $(\text{Co}_{10}\text{Fe}_{90})_{80}\text{B}_{20}$ | 1200           | 345                             | 0.29                       |
| $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$                      | 1160           | 325                             | 0.28                       |

[0292] 在表 1 中,当  $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{80}\text{B}_{20}$  的 Co 量  $x$  等于或小于 70 % 时,有效反磁场 ( $M_{\text{effective}}$ ) 的大小小于饱和磁化量  $M_s$ ,换言之,当 Co 量  $x$  等于或小于 70 % 时,比率  $M_{\text{effective}}/M_s$  是小于 1.0 的值。

[0293] 此外,可以看出,随着 Co 量  $x$  变小,  $M_{\text{effective}}$  和  $M_s$  之间的差异变大。

[0294] 反转电流值的测量结果在图 4 中示出,热稳定性指数的测量结果在图 5 中示出。

[0295] 图 4 示出存储层 17 的 Co-Fe-B 合金的 Co 量  $x$  (CoFe 中的量,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。

[0296] 图 5 示出存储层 17 的 Co-Fe-B 合金的 Co 量  $x$  (CoFe 中的量,原子%) 和热稳定性指数  $\Delta$  ( $\text{KuV}/k_bT$ ) 之间的关系。

[0297] 从图 4 中,可以发现,随着 Co 量  $x$  变小,反转电流密度  $J_{c0}$  变小。

[0298] 这是因为,当 Co 量  $x$  变小时,饱和磁化量  $M_s$  增加但有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  减小,

因此两者的乘积 ( $M_s \times M_{\text{effective}}$ ) 变小。

[0299] 从图 5 中,可以发现,随着 Co 量  $x$  变小,热稳定性 ( $K_u V/k_B T$ ) 的指数  $\Delta$  变大,并且如果 Co 量  $x$  小于特定值,热稳定性的指数  $\Delta$  稳定在大值处。

[0300] 这与基于图 5 所示的饱和磁化量  $M_s$  的测量结果所预期的变化以及基于公式 (2) 的热稳定性的指数  $\Delta$  与饱和磁化量  $M_s$  成比例的事实是一致的。

[0301] 根据表 1 的结构以及图 4 和图 5,可以明确 Co 量  $x$  等于或小于 70%的成分中(其中,有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  小于饱和磁化量  $M_s$ ),可以在维持高热稳定性的同时减小反转电流值  $J_c0$ ,而不使用牺牲热稳定性降低  $M_s$  的技术。

[0302] 实验 2

[0303] 在上述实验 1 中,发现在  $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{80}\text{B}_{20}$  的情况下,在 Co 量  $x$  等于或小于 70%的成分中,可以在维持高热稳定性的同时减小反转电流值  $J_c0$ 。

[0304] 在实验 2 中,利用具有  $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{80}\text{B}_z$  和  $(\text{Co}_{80}\text{Fe}_{20})_{80}\text{B}_z$  的成分的存储层 17,检测 B 量  $z$  对 Co 和 Fe 的比率以及  $M_{\text{effective}}/M_s$  有何种影响。样品的细节与实验 1 的相同。

[0305] 表 2 中,示出了在  $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{100-z}\text{B}_z$  中,其中 B 量  $z$  (原子%) 设定为 5 至 40%的 Co-Fe-B 合金的成分,饱和磁化量  $M_s$  和有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  的大小的测量结果,以及饱和磁化量和有效反磁场的大小的比率  $M_{\text{effective}}/M_s$ 。

[0306] 类似地,表 3 中,示出了在  $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{100-z}\text{B}_z$  中,其中 B 量  $z$  (原子%) 为 5 至 40%的 Co-Fe-B 合金的成分,饱和磁化量  $M_s$ 、有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  的大小,以及比率  $M_{\text{effective}}/M_s$ 。

[0307] 表 2

[0308]

|                                                    | $M_s$ (emu/cc) | $M_{\text{effective}}$ (emu/cc) | $M_{\text{effective}}/M_s$ |
|----------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------|
| $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{95}\text{B}_5$    | 1310           | 1090                            | 0.83                       |
| $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{90}\text{B}_{10}$ | 1250           | 1080                            | 0.89                       |
| $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{80}\text{B}_{20}$ | 1040           | 900                             | 0.87                       |
| $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{70}\text{B}_{30}$ | 820            | 730                             | 0.89                       |
| $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{60}\text{B}_{40}$ | 450            | 690                             | 1.53                       |

[0309] 表 3

[0310]

|                                                    | $M_s$ (emu/cc) | $M_{\text{effective}}$ (emu/cc) | $M_{\text{effective}}/M_s$ |
|----------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------|
| $(\text{Co}_{80}\text{Fe}_{20})_{95}\text{B}_5$    | 1250           | 1280                            | 1.02                       |
| $(\text{Co}_{80}\text{Fe}_{20})_{90}\text{B}_{10}$ | 1100           | 1140                            | 1.04                       |
| $(\text{Co}_{80}\text{Fe}_{20})_{80}\text{B}_{20}$ | 960            | 1010                            | 1.05                       |

|                                                    |     |     |      |
|----------------------------------------------------|-----|-----|------|
| $(\text{Co}_{80}\text{Fe}_{20})_{70}\text{B}_{30}$ | 750 | 890 | 1.19 |
| $(\text{Co}_{80}\text{Fe}_{20})_{60}\text{B}_{40}$ | 430 | 690 | 1.60 |

[0311] 从表 2 中的结果,可以看出当作为  $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{100-z}\text{B}_z$  将 Co 和 Fe 的比率固定为 70 比 30 时,在除 B 量  $z = 40$  原子%外的成分中,有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  的大小变得小于饱和磁化量  $M_s$ 。

[0312] 从表 3 中的结果,可以看出当作为  $(\text{Co}_{80}\text{Fe}_{20})_{100-z}\text{B}_z$  将 Co 和 Fe 的比率固定为 80 比 20 时,在所有成分中,有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  的大小变得大于饱和磁化量  $M_s$ 。

[0313] 从上述表 1 至 3 的结构可以明确,如果 B 量  $z$  在等于或小于 30 原子%的范围中,饱和磁化量  $M_s$  和有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  的大小的关系由 Co 和 Fe 的比率确定。

[0314] 因此,其中有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  的大小小于存储层 17 的饱和磁化量  $M_s$  的 Co-Fe-B 合金的成分如下:  $(\text{Co}_x\text{Fe}_y)_{100-z}\text{B}_z$ , 其中  $0 \leq \text{Co}_x \leq 70, 30 \leq \text{Fe}_y \leq 100$ , 并且  $0 < \text{B}_z \leq 30$ 。

[0315] 实验 3

[0316] 在吉比特级自旋注入磁化反转存储器中,假定存储元件的尺寸等于或小于  $100\text{nm}\Phi$ 。因此,在实验 3 中,使用  $50\text{nm}\Phi$  大小的存储元件评价热稳定性。

[0317] 在 Co-Fe-B 合金的成分中,CoFe 和 B 之间的成分比率(原子%)固定为 80 比 20,CoFe 中 Co 的成分比率  $x$ (原子%)改变为 90%、80%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%和 0%。

[0318] 除元件尺寸外样品的细节与实验 1 中的相同。

[0319] 图 6 示出当存储元件 3 的尺寸是  $50\text{nm}\Phi$  时,Co-Fe-B 合金的 Co 量(CoFe 中的含量,原子%)和热稳定性的指数  $\Delta$  ( $\text{KuV}/k_bT$ ) 之间的关系。

[0320] 从图 6 中,发现热稳定性的指数  $\Delta$  对 Co-Fe-B 合金的成分的关系从图 4 所示的元件尺寸为  $50\text{nm}\Phi$  的椭圆存储元件(短轴  $0.09\mu\text{m} \times$  长轴  $0.18\mu\text{m}$ )中获得的 Co-Fe-B 合金的成分关系开始,显著变化。

[0321] 根据图 6,仅在 Co-Fe-B 合金的成分中存在等于或高于 60%的 Fe 的原子%的情况下维持高热稳定性。

[0322] 作为许多检验的结果,明确了在很小的存储元件中通过具有 60%或更高的 Fe 的原子%的 Co-Fe-B 合金示出高的热稳定性的指数  $\Delta$  的原因可归于 Co-Fe-B 合金的磁化沿膜表面垂直方向。

[0323] 可认为沿膜表面垂直方向的 Co-Fe-B 合金的磁化的原因在于这样的结构,其中有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  的大小显著小于饱和磁化量  $M_s$ 。

[0324] 在垂直磁化膜的情况下,小元件中维持热稳定性的原因在于公式(2)中的  $H_k$ (有效各向异性场)的关系,垂直磁化膜的  $H_k$  一般具有远高于面内磁化膜的值。换言之,在垂直磁化膜的情况下,通过高  $H_k$  的作用,即使在小元件(其中难确保高的热稳定性的指数  $\Delta$ )中也可以维持高的热稳定性的指数  $\Delta$ 。

[0325] 从实验结果看,当  $\text{Fe}_{100-x}$  等于或高于 60%时,在具有  $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{80}\text{B}_{20}$  成分的 Co-Fe-B 合金中,适于吉比特级的利用自旋注入的存储器装置。

[0326] 实验 4

[0327] 上述实验 3 示出：当 Fe 的量等于或高于 60% 时，在具有  $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{80}\text{B}_{20}$  成分的 Co-Fe-B 合金中，适于利用自旋注入的 Gbit 级存储器装置。此外，在实验 4 中，用具有 B 量在 5 至 30 原子%范围内的 Co-Fe-B 合金制造尺寸  $50\text{nm}\phi$  的存储元件，并且评估其热稳定性。

[0328] 除元件尺寸外的样品的细节与实验 1 中的相同。

[0329] 表 4 示出具有  $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{100-z}\text{B}_z$  (Co 量  $x = 50, 40, 30, 20, 10, 0$ ，并且 B 量  $z = 5, 10, 20, 30$  的范围) 成分的 Co-Fe-B 合金和热稳定性的指数  $\Delta$  (KuV/k<sub>B</sub>T) 之间的关系。

[0330] 表 4

[0331]

|                                | $(\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50})_{100-z}\text{B}_z$ | $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{60})_{100-z}\text{B}_z$ | $(\text{Co}_{30}\text{Fe}_{70})_{100-z}\text{B}_z$ | $(\text{Co}_{20}\text{Fe}_{80})_{100-z}\text{B}_z$ | $(\text{Co}_{10}\text{Fe}_{90})_{100-z}\text{B}_z$ | $\text{Fe}_{100-z}\text{B}_z$ |
|--------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
| $\text{B}_z = 5\text{Atom}\%$  | 19                                                 | 40                                                 | 42                                                 | 42                                                 | 43                                                 | 44                            |
| $\text{B}_z = 10\text{Atom}\%$ | 20                                                 | 41.5                                               | 43                                                 | 44                                                 | 44                                                 | 45                            |
| $\text{B}_z = 20\text{Atom}\%$ | 20                                                 | 43                                                 | 44                                                 | 45                                                 | 46                                                 | 46                            |
| $\text{B}_z = 30\text{Atom}\%$ | 21                                                 | 45                                                 | 47                                                 | 48                                                 | 48                                                 | 48                            |

[0332] 从表 4 得到，在除 Co 量  $x = 50$  且 B 量  $z = 5$  至 30 情况外的所有成分中，热稳定性的指数  $\Delta$  维持为高。

[0333] 换言之，如实验 4 中的结果，明确了当对应于吉比特级自旋注入式磁化反转存储器的小元件中确保高热稳定性时，Co 量  $x = 50$  和 60 是边界线。

[0334] 因此，根据上述结果，证明了当存储层 17 的 Co-Fe-B 合金的成分是以下范围中的  $(\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x})_{100-z}\text{B}_z$  时，该成分优选用于制造级别特级自旋注入式磁化反转存储器： $0 \leq \text{Co}_x \leq 40, 60 \leq \text{Fe}_y \leq 100, 0 < \text{B}_z \leq 30$ 。

[0335] 在 Co 和 Fe 之间具有高 Fe 比的有成分的 Co-Fe-B 合金中，有效反磁场  $M_{\text{effective}}$  和饱和磁化量  $M_s$  之间的间隔大，并且容易实现垂直磁化，因此容易确保热稳定性。

[0336] 鉴于此，当磁性存储器的容量增大并且存储元件 3 的尺寸更小时，Fe 含量大的 Co-Fe-B 合金容易确保热稳定性。

[0337] 例如，当考虑可以通过具有 60 原子%的  $\text{Fe}_y$  和  $70\text{nm}\phi$  的尺寸的存储层 17 来实现吉比特级自旋注入式磁化反转存储器的状态时，希望 Co-Fe-B 合金中的 Fe 量  $y$  在存储元件 3 的直径每次增加  $5\text{nm}\phi$  时增大 5。

[0338] 例如，在上述  $(\text{Co}_x\text{Fe}_y)_{100-z}\text{B}_z$  的情况中，根据存储元件尺寸的减小，CoFe 含量的 Fe 量  $y$  的成分的原子%为 65%、70%、75%、80%……(Co 量  $x$  的情况 35%、30%、25%、20%……) 是适当的示例。

[0339] 实验 5

[0340] 在实施例的存储元件 3 的结构中，具体地，选择构成存储层 17 的铁磁性层的材料，检验存储元件 3 的特性。

[0341] 以与上述实验 1 至实验 4 相同的方式，仅对只形成有存储元件 3 的晶圆进行评论，用于检测存储层 17 的磁化反转特征。

[0342] 在厚度 0.725mm 的硅基底上形成厚度 300nm 的热氧化膜,如图 7 所示在其上形成具有图 2 所示的结构 of 的存储元件 3。

[0343] 基础层 14:具有膜厚 10nm 的 Ta 膜、膜厚 10nm 的 Ru 膜和膜厚 10nm 的 Ta 膜的层叠层

[0344] 磁化固定层 15:膜厚 1.2nm 的 Co-Fe-B 膜

[0345] 隧道绝缘层 16:具有膜厚 0.9nm 的氧化镁膜

[0346] 存储层 17:具有与磁化固定层相同成分的 Co-Fe-B 膜

[0347] 帽层 18:具有膜厚 3nm 的 Ta 膜、膜厚 3nm 的 Ru 膜和膜厚 3nm 的 Ta 膜的层叠层

[0348] 每个层如上选择,并且图中未示出的膜厚 100nm 的 Cu 膜(将作为后述的字线)布置在基础层 14 和硅基底之间,以完成各层的形成。

[0349] 在上述膜结构中,存储层 17 的铁磁性层具有 Co-Fe-B 的三元素基础合金的材料,并且铁磁性层的膜厚固定为 1.5nm。

[0350] 除氧化镁膜形成的绝缘层 16 外的每个层使用 DC 磁控溅射方法形成。

[0351] 氧化镁(MgO)膜形成的绝缘层 16 使用 RF 磁控溅射方法形成。

[0352] 在存储元件 3 的每个层形成之后,在磁场中的热处理炉中在不同温度下执行达一小时的热处理。

[0353] 接下来,在字线部分由光刻法掩模后,通过用 Ar 等离子体对字线以外的层叠膜的部分执行选择刻蚀形成字线(下电极)。此时,除字线以外,执行刻蚀达基底的 5nm 的深度。

[0354] 之后,通过电子束打印装置形成存储元件 3 的图案的掩模,并且对层叠膜执行选择刻蚀以形成存储元件 3。除存储元件 3 的部分外,执行刻蚀一直到字线的 Cu 层上方。

[0355] 在用于特性评估的存储元件中,由于需要使足够的电流在存储元件中流动以产生的磁化反转所需的自旋转矩,需要抑制隧道绝缘层的阻抗值。存储元件 3 的图案形成为短轴  $0.09\mu\text{m}$  并且长轴  $0.09\mu\text{m}$  的椭圆形,从而将存储元件 3 的区域阻抗值( $\Omega\mu\text{m}^2$ )设为  $20\Omega\mu\text{m}^2$ 。

[0356] 接下来,通过溅射厚度约 100nm 的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,除存储元件 3 外的部分被绝缘。

[0357] 之后,使用光刻法形成用作为上电极的位线和用于测量的垫。

[0358] 这样,制备了存储元件 3 的样品。

[0359] 据上述制造方法,制备存储元件 3 的每个样品,其中改变存储层 17 的铁磁性层的 Co-Fe-B 合金的成分。

[0360] 在 Co-Fe-B 合金的成分中,Co 和 Fe 的成分比(原子%)固定到 20:80,B 的成分比例 z(原子%)改变到 10%、20%、30%、35%、40%以及 50%。

[0361] 如上所述,对存储元件 3 的每个样品执行以下的特征评估。(TMR 的测量)

[0362] 为了评估根据本发明的存储元件的输出特性而执行 TMR 的测量。

[0363] 在保持 3kOe 范围的磁场的同时将 100mV 的电压施加到存储元件 3,以测量存储元件 3 的电阻值。

[0364] 考虑存储元件 3 之间的差别,制备约 20 个具有相同结构的存储元件 3,然后执行上述测量以获得特性的平均值。

[0365] 图 8 对于存储元件 3 的每个样品的存储层 17 的 Co-Fe-B 合金的每个成分,示出了 TMR 根据热处理温度的变化。

[0366] 从图 8 中可以发现,当 B 的浓度是 10% 时(图中的 10B),TMR 在 300℃ 的热处理温度附近形成峰值。

[0367] 当 B 的浓度在 20% 至 40% 的成分范围中时(图中的 20B 至 40B),TMR 的峰值从 350℃ 附近的热处理温度移动到 400℃。

[0368] 当 B 的浓度是 50% 时(图中的 50B),如果在等于或大于 200℃ 的温度处执行热处理,观察到 TMR,但是 TMR 的绝对值相比具有其它成分的 Co-Fe-B 合金变得很小。

[0369] 当 B 的浓度是 40% 时,TMR 相比 B 的浓度是 10% 至 35% 的样品的最大 TMR(约 110%) 仍然在微小的水平,但是 TMR 的约 80% 固定在 350℃ 至 400℃ 的热处理温度附近,达到可用于自旋注入式磁化反转存储器的输出。

[0370] 在 B 的浓度是 20% 至 30% 的样品的情况下,在 450℃ 附近确保足够的 TMR。

[0371] 总之,当 B 的浓度在 20% 至 0% 的成分范围中时,可以确定能够在半导体过程最优的热处理范围中获得最优的 TMR 特性。

[0372] 一般地,当使用 Co-Fe-B 合金形成隧道磁结点时,发现受到热处理的 B 扩散到 MgO 屏障(绝缘层 16)或帽层 18 侧。B 的浓度在 350℃ 至 400℃ 的热处理温度范围中优选的是 20% 至 40% 的原因与 B 的扩散相关,通过将一定量 B 存在于作为 Co-Fe-B 合金的原始成分的合金膜中,实现了其中通过该分布在理想的热处理温度范围中获得良好的垂直磁性特性和 TMR 特性的 B 的分布,因此加强 MgO 屏障和 Co-Fe-B 合金的界面磁性各向异性。

[0373] 根据该假设,即使在温度等于或大于 450℃ 的高温热处理中也存在能通过其获得良好 TMR 特性的 B 的浓度。但是在该实验中使用的样品的情况下,在高于 450℃ 的热处理中基础层 14 的粗糙度被加强,并且发生基础层 14 和帽层 18 的过多的扩散,因此在具有所有 B 浓度等级的 Co-Fe-B 中 TMR 特性劣化。

[0374] 当 B 的浓度是 10% 时,在等于或大于 350℃ 的高温时 TMR 特性劣化是由于以下事实:由于当在高温下执行热处理时 B 的浓度过度的小,很难加强 MgO 屏障和 Co-Fe-B 合金之间的界面磁性各向异性。

[0375] 当 B 的浓度是 50% 时,很难获得满意的 TMR 特性是原因是 B 的浓度过高并且饱和磁化显著降低。

[0376] 由以上结果,当 Co-Fe-B 合金中 Co 和 Fe 的成分比率(原子%) 固定为 20 : 80 时,证实通过 20% 至 40% 的 B 的浓度和范围从 350℃ 至 450℃ 的热处理温度可以形成具有高输出的存储元件 3。

[0377] 实验 6

[0378] 实验 5 中,示出在具体的 Co/Fe 比率处改变 B 的浓度时的具体实验结果。接下来,在实验 6 中,Co/Fe 比率设为 40/60、30/70 和 10/90,并且 B 的浓度改变到 20%、30% 和 40%,以形成存储元件 17,并且评价 TMR 特性。

[0379] 在图 9A、图 9B 和 9C 中,示出在每个 Co/Fe 比率处改变 B 的浓度和热处理温度时的 TMR 特性。

[0380] 从结果中可以理解,在所有成分中,实验 5 所示的 20% 至 40% 的 B 的浓度和 350℃ 至 400℃ 范围的热处理温度中获得高输出(=高 TMR)。

[0381] 在 450℃ 附近观察到具有高输出(=高 TMR)的成分。例如,是具有范围从 20% 至 30% 的 B 的浓度的成分。

[0382] 在 TMR 值中,没有观察到其对于 Co/Fe 比率的依存性。

[0383] 上述实验 5 和实验 6 的结果示出:通过使用具有其中  $0 \leq \text{Co}_x \leq 40$ 、 $60 \leq \text{Fe}_y \leq 100$ 、 $20 < \text{B}_z \leq 40$  的  $(\text{Co}_x\text{-Fe}_y)_{100-z}\text{-B}_z$  成分的垂直磁化铁磁性材料 Co-Fe-B,可以提供具有高输出的存储元件,其具有与范围从 350℃ 至 400℃ 的热处理温度的半导体过程的高亲和性。

[0384] 过实现高输出还实现了高自旋极化率 P,从而也可以降低能耗。

[0385] 如上所述,通过利用具有高垂直磁化的磁性各向异性,可以提供具有高输出和低反转电流的自旋注入式磁化反转元件,而不使用牺牲热稳定性的方法。

[0386] 在第一实施例中,描述了在  $0 < \text{B}_z \leq 30$  的 B 的浓度范围中有效反磁场 Meffective 小于饱和磁化量 Ms,从而对于垂直磁化是优选的(例如参照以上表 2)。因此,第二实施例中 B 的浓度设为  $20 < \text{B}_z \leq 40$ ,那么 30% 至 40% 的范围似乎不适合。

[0387] 然而,当以相对高的温度执行热处理时,即使 B 的浓度范围是 30% 至 40%,发现有效反磁场 Meffective 小于饱和磁化量 Ms,适合垂直磁化。

[0388] 表 5 示出存储层 17 的成分 Co-Fe-B 是  $(\text{Co}_{70}\text{-Fe}_{30})_{65}\text{-B}_{35}$  和  $(\text{Co}_{70}\text{-Fe}_{30})_{60}\text{-B}_{40}$  的存储元件在 400℃ 的热处理温度的饱和磁化量 Ms 和有效反磁场 Meffective。

[0389] 表 5

[0390]

|                                                    | Ms (emu/cc) | Meffective (emu/cc) | Meffective/Ms |
|----------------------------------------------------|-------------|---------------------|---------------|
| $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{65}\text{B}_{35}$ | 740         | 650                 | 0.88          |
| $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{60}\text{B}_{40}$ | 720         | 550                 | 0.89          |

[0391] 即使在 B 的浓度是 35% 和 40% 的两种情况下,有效反磁场 Meffective 小于饱和磁化量 Ms ( $\text{Meffective}/\text{Ms} < 1$ )。

[0392] 换言之,满足以下情况:当热处理温度高时,即使在 30% 至 40% 的 B 的浓度范围中,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。

[0393] 实验 7

[0394] 在实验中,图 2 所示的存储元件 3 的磁化固定层 15 具有层叠的铁销结构,当在 300℃ 执行一个小时热处理并且当在 350℃ 执行一个小时热处理时,在存储元件 3 上获得磁化曲线。图 10 是示出实验中使用的存储元件 3 的样品的层结构的图。在实验中,使用两种样品,样品 1 和样品 2。每个样品的磁化固定层 15 的层结构如图 10 所示。即,样品 1 具有其中 Ru 非磁性层夹持在 Co-Fe-B 的铁磁性层和 Co-Pt 之间的结构。

[0395] 样品 2 通过层叠 Ta 非磁性层形成, Ta 非磁性层夹持在样品 1 的 Co-Fe-B 铁磁性层之间。

[0396] 图 10 中示出除磁化固定层 15 以外的层。

[0397] 在每个样品中,在厚度 0.725mm 的硅基底上形成厚度 300nm 的热氧化膜,在其上形成图 10 所示的存储元件。

[0398] 膜厚 100nm 的 Cu 膜(未示出)布置在基础层和硅基底之间(将作为后述的字线)。

[0399] 除绝缘层 16 外的每个层使用 DC 磁控溅射方法形成。由于绝缘层由 MgO 形成,其

通过 RF 磁控溅射方法形成。存储元件 3 的每个层形成之后,在磁场加热炉中执行 300℃的热处理达一个小时或 350℃的热处理达一个小时。存储元件 3 不是微处理后的元件,并且使用约 8mm×8mm 的体膜部分,用于在晶圆上的磁化曲线评估。

[0400] 图 11A 和图 11B 示出样品 1 和样品 2 的磁化曲线。通过施加沿每个样品的膜表面垂直方向的磁场,磁化曲线测量克尔效应。在图中,水平轴表示磁场大小,垂直轴表示测量的克尔效应的大小。

[0401] 图 11A 是 300℃热处理后的结果。图 11B 是 350℃热处理后的结果。在图 11A 中,样品 1 和样品 2 的磁化曲线彼此没有不同。这表示根据是否有 Ta 的层叠铁销结构所表示的磁化曲线没有不同。

[0402] 在图 11B 中,在样品 1 中,面内成分加强,层叠铁销结构劣化,并且垂直磁性各向异性消失。相反,在样品 2 中,保留垂直磁性各向异性,没有示出层叠铁销结构没有示出。在通过将夹持在上下铁磁性层之间的多个非磁性层进行层叠而形成的层叠铁销结构的情况下,示出即使当热处理温度高时也保持垂直磁性各向异性。

[0403] 在通过将夹持在上下铁磁性层之间的多个非磁性层进行层叠而形成的层叠铁销结构的情况下,可以增加作为铁磁性层的材料的 Co-Fe-B 的膜厚并提高 MR 比率。

[0404] 通过将例如 Ta 的非磁性层加到 Co-Fe-B,用作为干扰垂直磁化的反磁场,并且即使当热处理温度高也可以抑制 Co-Fe-B 的饱和磁化量  $M_s$ 。

[0405] 在实验中,Co-Fe-B 的 B 的成分是 20%,但是从与热处理温度的关系,B 的成分可以等于或大于 20%。

[0406] 非磁性材料不限于 Ta。作为非磁性材料,可以使用 Ru、Os、Re、Ir、Au、Ag、Cu、Al、Bi、Si、B、C、Cr、Pd、Pt、Zr、Hf、W、Mo、Nb 及其合金。可以利用它们调节磁特性。

[0407] 实验 8

[0408] 在实验中,图 2 所示的存储元件 3 的磁化固定层 15 具有层叠的铁磁销结构,当铁磁性层的膜厚不变并且非磁性层的膜厚改变时,研究磁化曲线的变化。图 10 是示出实验中使用的存储元件 3 的样品的层结构的图。在实验中,使用图 10 中所示的三种样品,样品 3、样品 4 和样品 5。样品 4 具有与样品 2 相同的成分和结构。

[0409] 在每个样品中,在厚度 0.725mm 的硅基底上形成厚度 300nm 的热氧化膜,并且在其上形成图 10 所示的存储元件 3。

[0410] 膜厚 100nm 的 Cu 膜(未示出)布置在基础层和硅基底之间(将作为后述的字线)。

[0411] 除绝缘层 16 外的每个层使用 DC 磁控溅射方法形成。由于绝缘层由 MgO 形成,其通过 RF 磁控溅射方法形成。在存储元件 3 的每个层形成之后,在磁场加热炉中执行 350℃的热处理达一个小时。存储元件 3 不是微处理后的元件,使用约 8mm×8mm 的体膜部分,用于在晶圆上的磁化曲线评估。

[0412] 图 12A、图 12B 和图 12C 分别示出样品 3、样品 4 和样品 5 的磁化曲线。通过施加沿每个样品的膜表面垂直方向的磁场,通过测量克尔效应可以获得磁化曲线。在图中,水平轴表示磁场大小,垂直轴表示测量的克尔效应的大小。

[0413] 如图 12A、图 12B 和图 12C 所示,即使当非磁性层 Ta 的膜厚增加到 0.1nm 时,也未示出层叠的铁销结构劣化。因此,非磁性层的膜厚可以在铁磁性层 Co-Fe-B 的磁化不消失的范围内增加例如 0.1nm。

#### [0414] 实验 9

[0415] 在实验中,图 2 所示的存储元件 3 的磁化固定层 15 具有层叠的铁氧结构,并且执行根据磁致电阻曲线的热稳定性和反转电流值的测量。在图 10 中,示出实验中使用的存储元件 3 的样品的层结构。在实验中,使用两种样品,样品 6 和样品 7。每个样品的磁化固定层 15 的层结构如图 10 所示。样品 6 的成分结构与样品 1 相同。样品 7 的成分结构与样品 2 相同。除磁化固定层 15 以外的层在图 10 中示出。

[0416] 在每个样品中,在厚度 0.725mm 的硅基底上形成厚度 300nm 的热氧化膜,在其上形成图 10 所示的存储元件 3。

[0417] 膜厚 100nm 的 Cu 膜(未示出)布置在基础层和硅基底之间(将作为后述的字线)。

[0418] 除绝缘层 16 外的每个层使用 DC 磁控溅射方法形成。由于绝缘层由 MgO 形成,其通过 RF 磁控溅射方法形成。存储元件 3 的每个层形成之后,在磁场加热炉中执行 300℃ 的热处理达一个小时或 350℃ 的热处理达一个小时。

[0419] 接下来,字线部分由光刻法掩模后,通过用 Ar 等离子体对层叠膜的字线以外的部分执行选择刻蚀,形成字线(下电极)。

[0420] 此时,对字线以外的部分执行的刻蚀达基底的 5nm 的深度。

[0421] 之后,通过电子束打印装置形成存储元件 3 的图案的掩模,并且对层叠膜执行选择刻蚀以形成存储元件 3。除存储元件 3 部分外,刻蚀一直执行到字线的 Cu 层上方。

[0422] 在用于特性评估的存储元件中,由于需要使足够的电流在存储元件中流动以产生的磁化反转所需的自旋转矩,需要抑制隧道绝缘层的阻抗值。存储元件 3 的图案形成成为椭圆形,短轴  $0.07 \mu\text{m}$  × 长轴  $0.07 \mu\text{m}$ ,并且存储元件 3 的面积阻抗值 ( $\Omega \mu\text{m}^2$ ) 设为  $20 \Omega \mu\text{m}^2$ 。

[0423] 接下来,通过溅射厚度约 100nm 的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,除存储元件外的部分被绝缘。

[0424] 之后,使用光刻法形成用作为上电极的位线和用于测量的垫。这样,制备了存储元件 3 的样品。

[0425] 在测量之前,存储元件 3 配置为从外侧接收磁场,从而可以将反转电流的正方向和负方向的值控制为对称。

[0426] 施加到存储元件 3 的电压设为 1V,在绝缘层 16 不损坏的范围内。

[0427] (磁致电阻曲线的测量)

[0428] 通过在施加磁场的同时测量元件阻抗来执行存储元件 3 的磁致电阻曲线的评估。

[0429] (反转电流和热稳定性的测量)

[0430] 测量反转电流值,用于评估实施例的存储元件 3 的写特性。

[0431] 使具有  $10 \mu\text{s}$  至 100ms 的脉冲宽度的电流在存储元件 3 中流动,然后测量存储元件 3 的阻抗值。

[0432] 通过改变在存储元件 3 中流动的电流值,获得使存储元件 3 的存储层 17 的磁化方向 M17 反转的电流值。将电流值对脉冲宽度的依赖性插入到 1ns 的脉冲宽度外侧而获得的值被设为反转电流值。

[0433] 反转电流值对脉冲宽度的依赖的倾度对应于上述存储元件 3 的热稳定性的指数 ( $\Delta$ )。反转电流值不随脉冲宽度改变(倾度小),这意味着对热量的干扰的抗性强。

[0434] 考虑存储元件 3 之间的差别,制备了约 20 个相同结构的存储元件,并且执行上述测量,以获得反转电流值和热稳定性指数  $\Delta$  的平均值。

[0435] 在表 6 中, 示出 350℃ 的热处理温度的样品 6 和样品 7 的磁致电阻曲线和基于电流写入的热稳定性的评估。在样品 6 中, 通过将热处理温度提高到 350℃, 可以看到 MR 比率和热稳定的显著劣化。在样品 7 中, 即使将热处理温度提高到 350℃, 也没有看到 MR 比率和热稳定的劣化。

[0436] 在 300℃ 的热处理温度的情况下, 热稳定性基本上与 350℃ 的热处理温度的情况是相同的值, 并且在样品 6 和样品 7 中改善。考虑这是因为磁化固定层 15 是层叠的铁钴结构。

[0437] 表 6

[0438]

|      | 热处理条件     | MR 比率<br>[%] | 热稳定性-Δ |
|------|-----------|--------------|--------|
| 样品 6 | 350℃ 1 小时 | 22           | 37     |
| 样品 7 |           | 65           | 56     |

[0439] <6. 改进示例>

[0440] 以上描述了实施例, 但是本发明不限于上述实施例所示的存储元件 3 的膜结构, 可以采用各种膜结构。

[0441] 例如, 在实施例中, 存储层 17 和磁化固定层 15 的 Co-Fe-B 的成分设为相同的, 但是不限于上述实施例, 在不背离本发明的要点的范围内可以采取其它不同的成分。

[0442] 在实施例中, 仅描述单个基础层 14、帽材料和存储元件的形状, 但不限于此, 在不背离本发明的要点的范围内可以采取其它不同的结构。

[0443] 存储元件的膜结构是否具有存储层 17 布置在磁化固定层 15 上方或布置在该层下方的结构是根本没有关系的。此外, 膜结构是否为所谓的双重结构 (其中磁化固定层 15 设置在存储层 17 的上方及下方) 是根本没有关系的。

[0444] 本申请包含了与 2011 年 2 月 3 日向日本专利局递交的日本在先专利申请 JP 2011-021342 中公开的主题相关的主题, 这里通过引用引入其全部内容。

[0445] 本领域技术人员应理解, 只要在所附权利要求或与其相当的范围内, 根据设计要求和其它因素可以进行各种改变、结合、附属结合和替代。

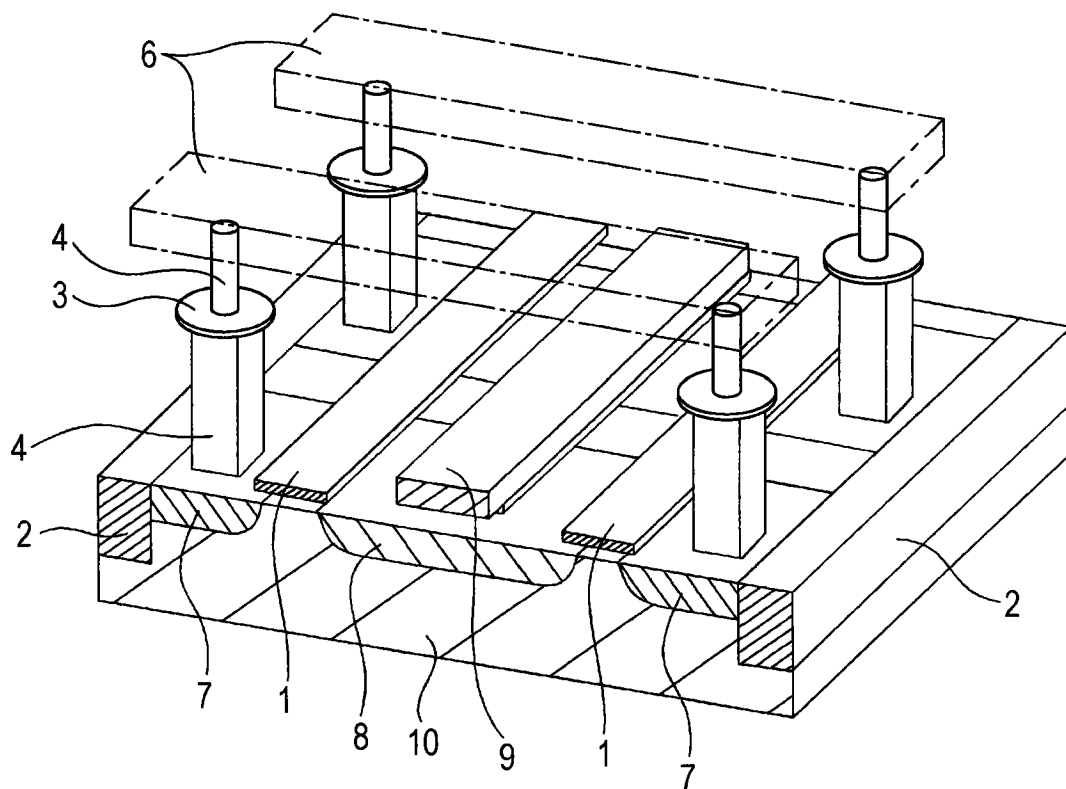


图 1

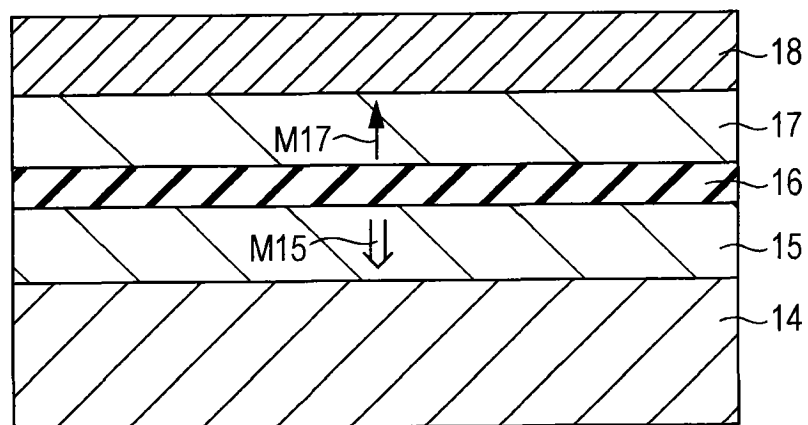
3

图 2

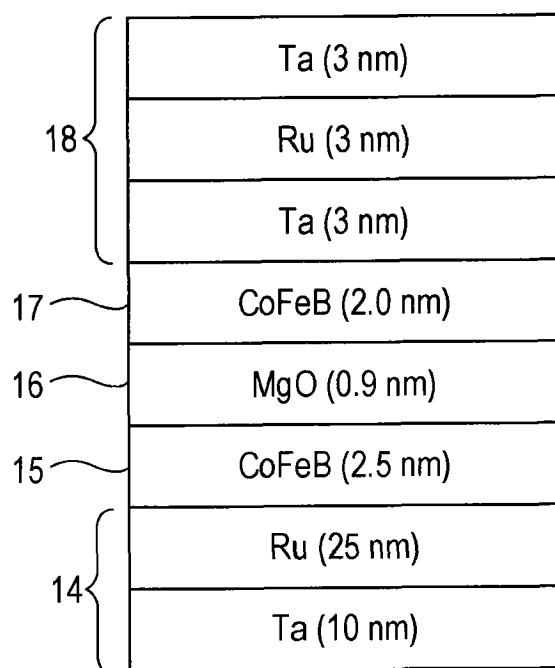


图 3

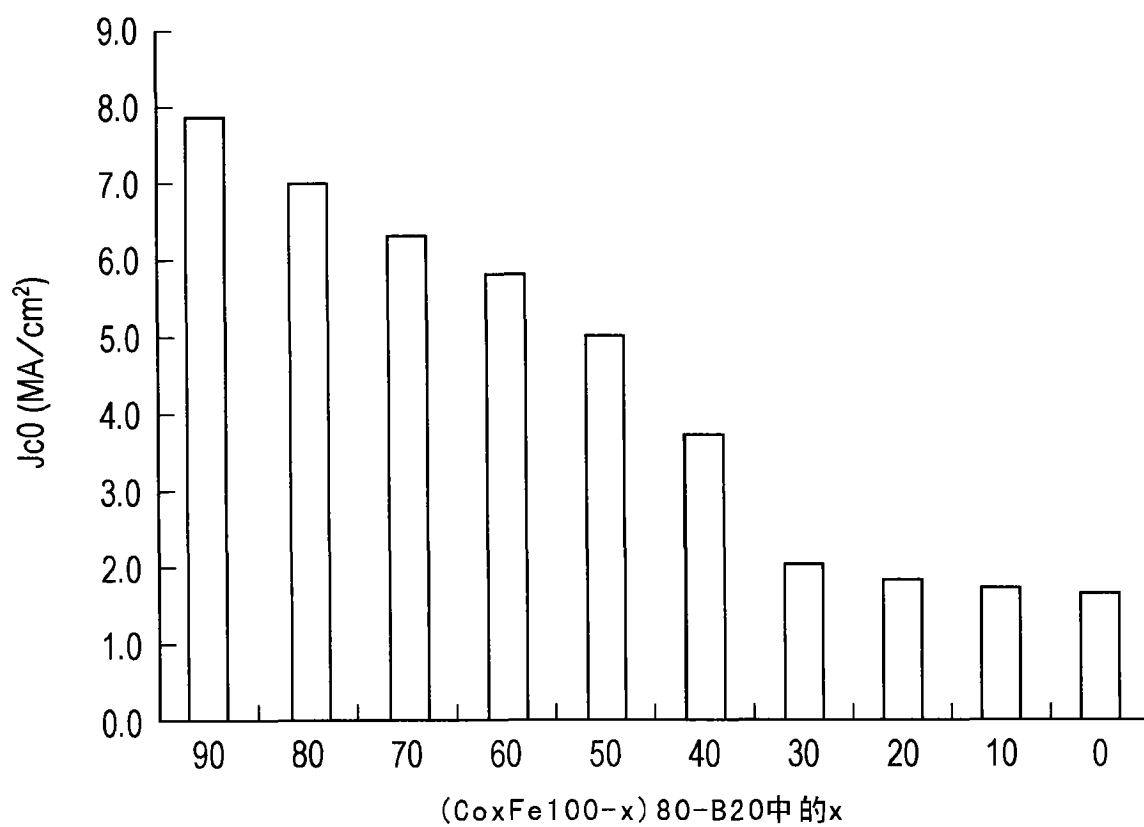


图 4

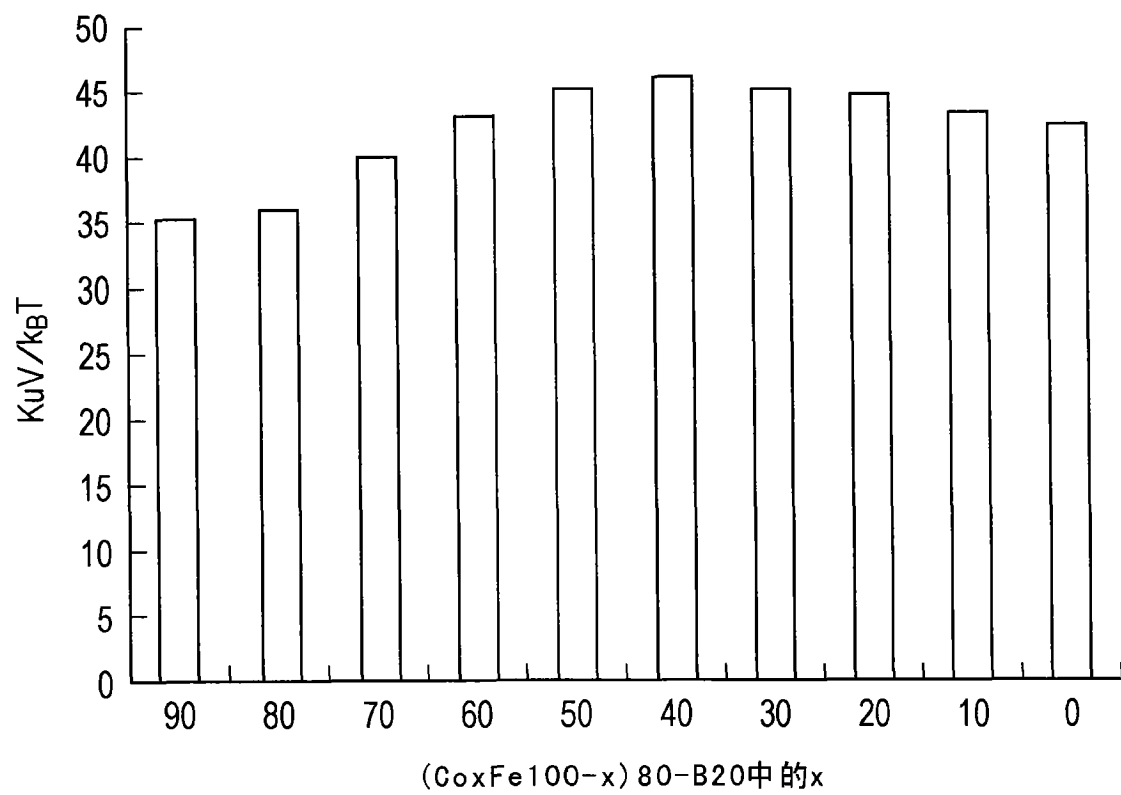


图 5

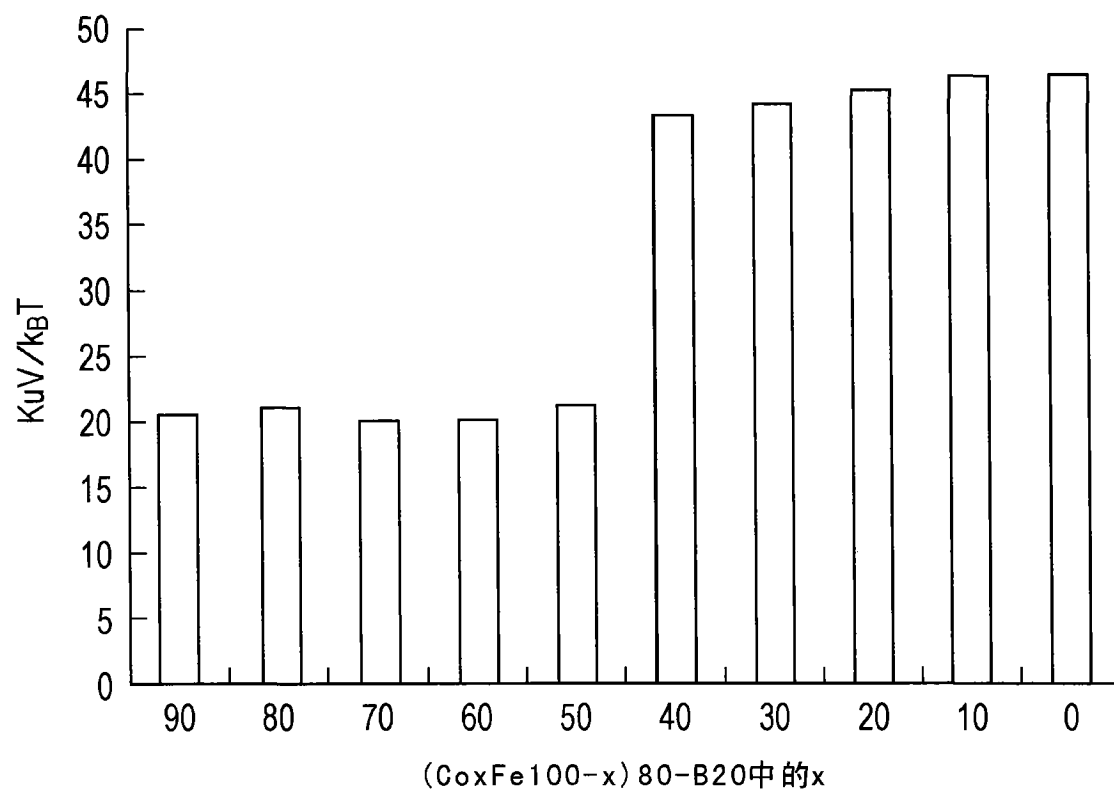


图 6

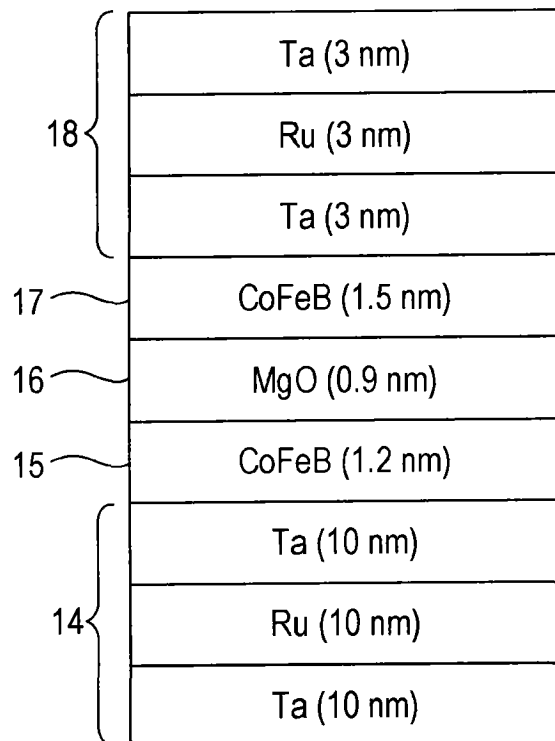


图 7

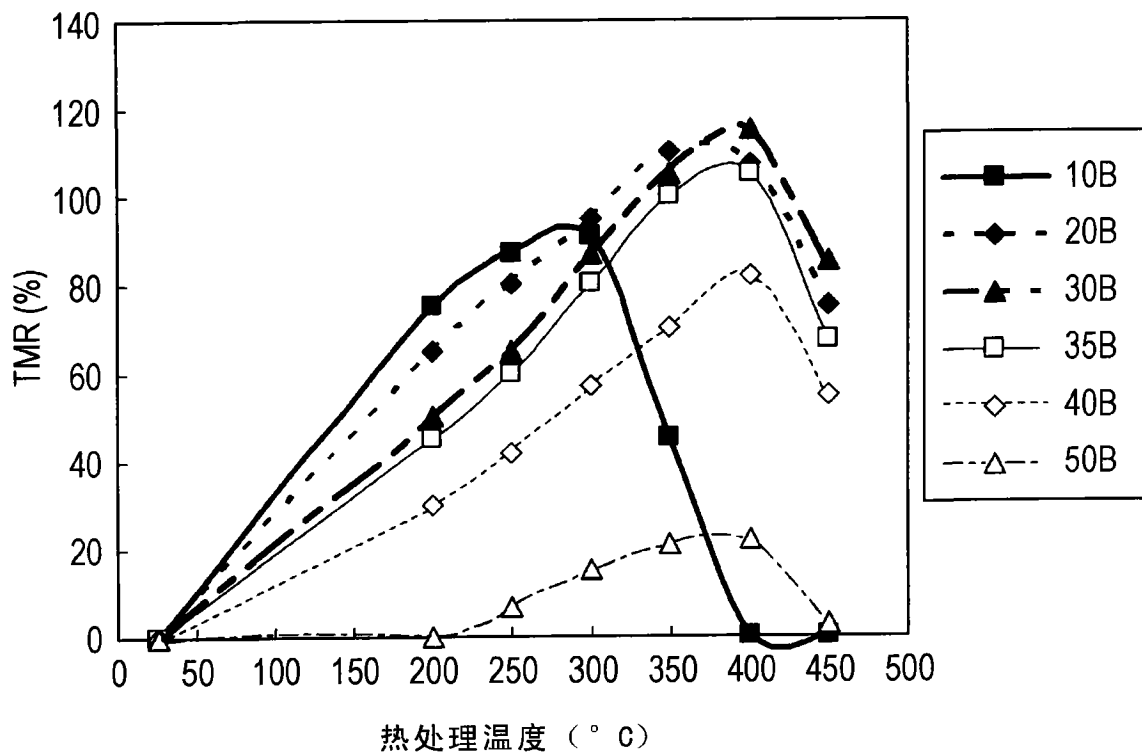


图 8

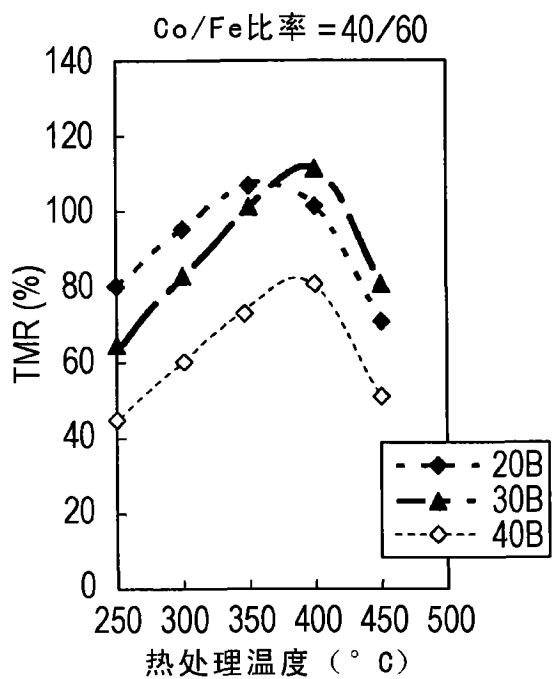


图 9A

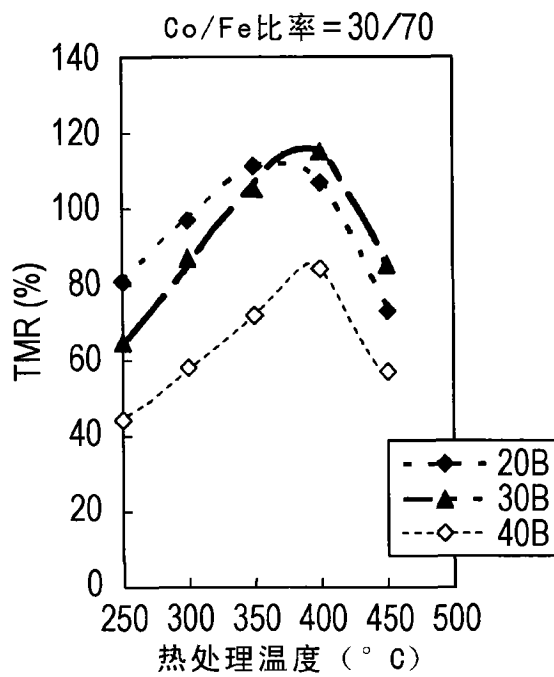


图 9B

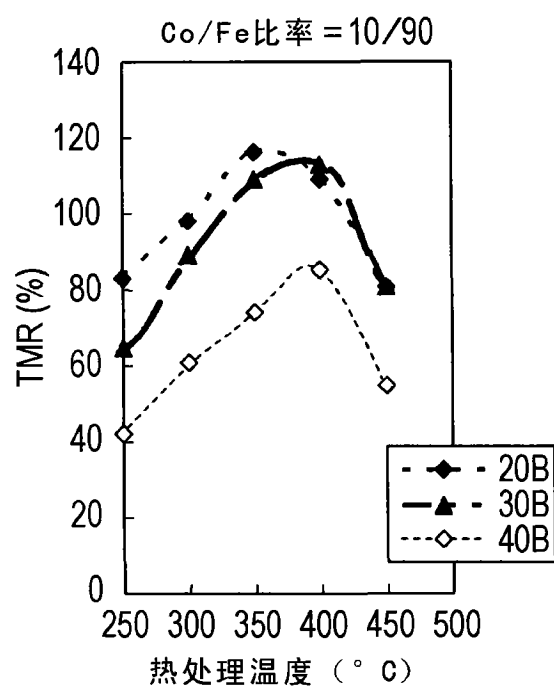


图 9C

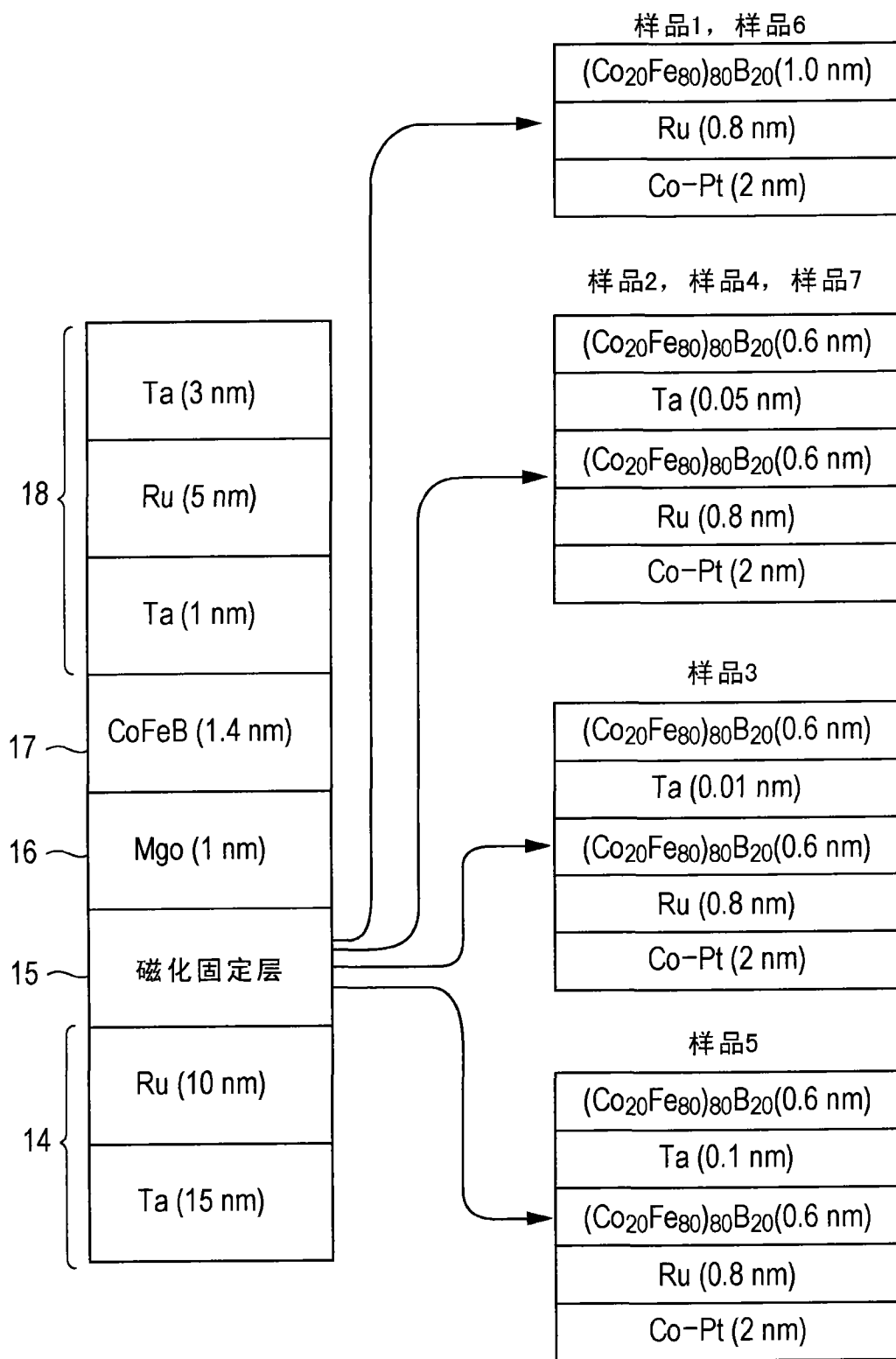


图 10

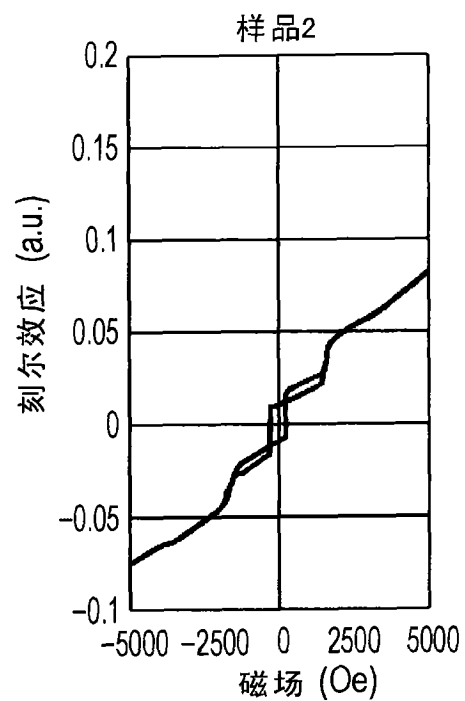
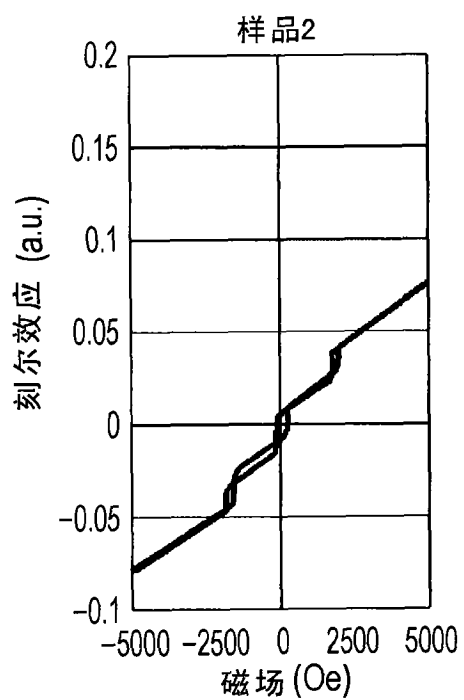
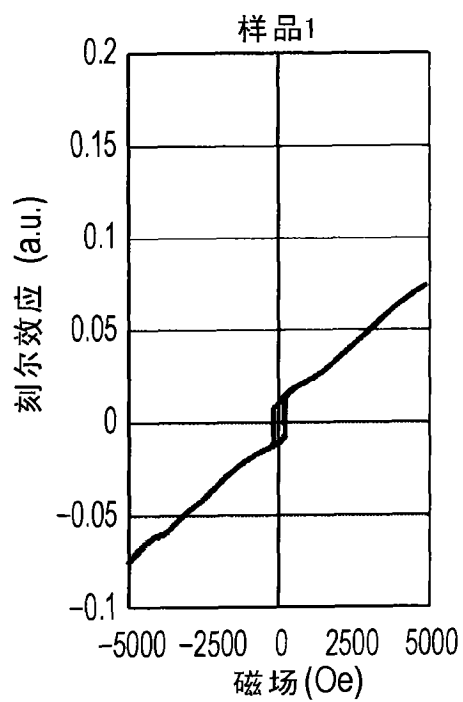
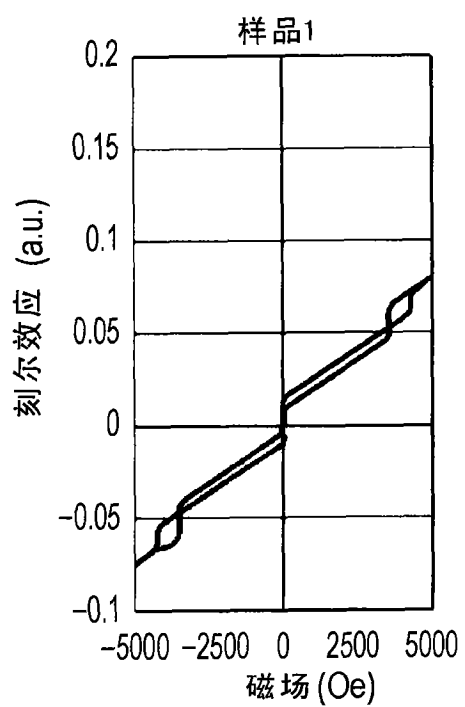


图11A

图11B

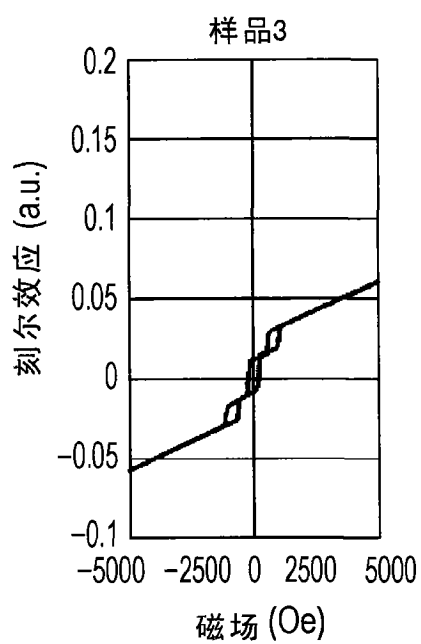


图 12A

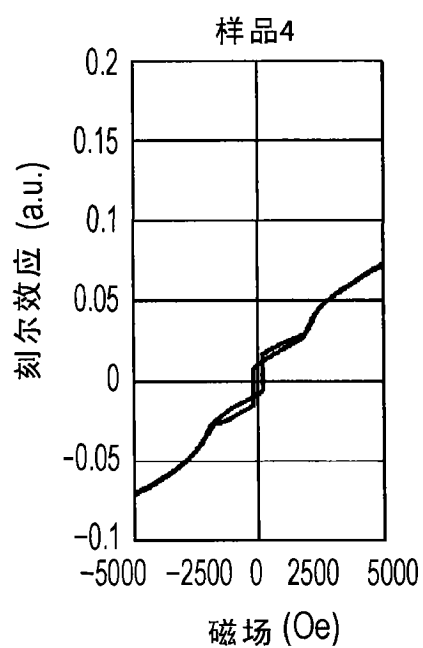


图 12B

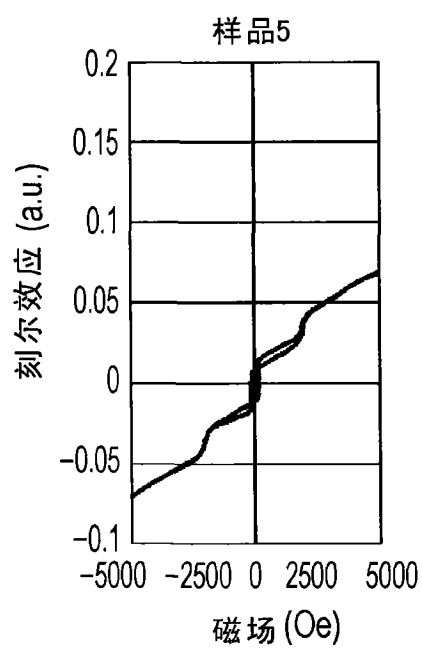


图 12C

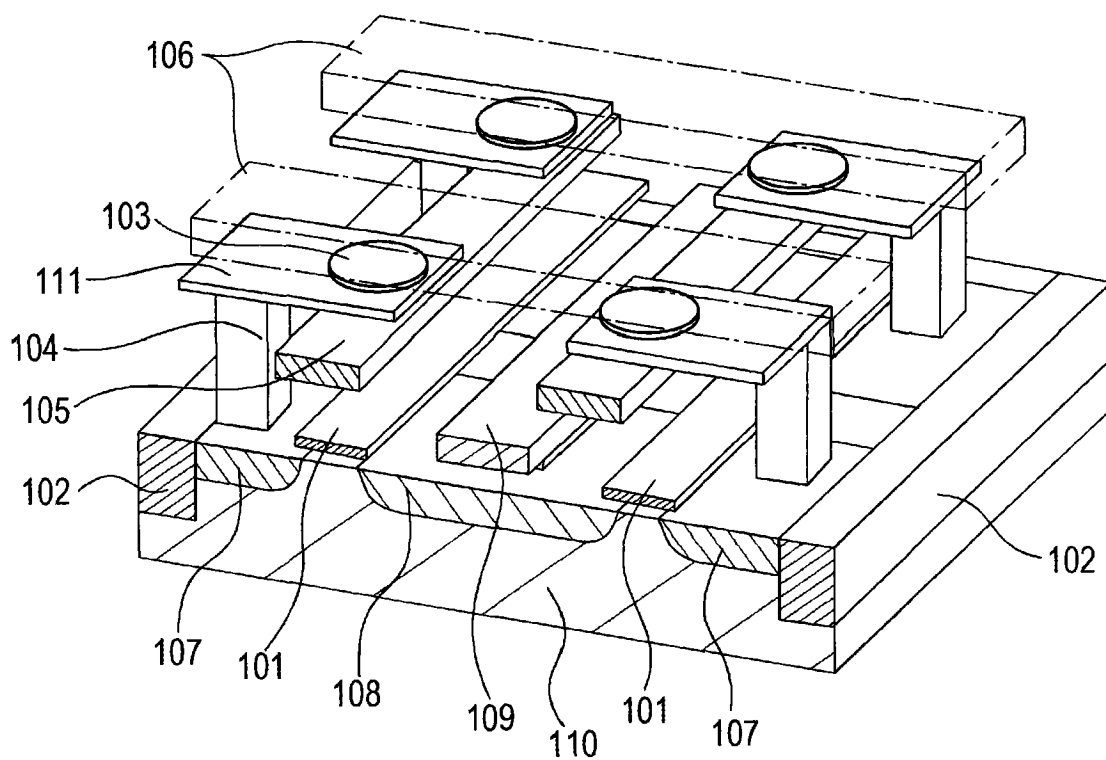


图 13

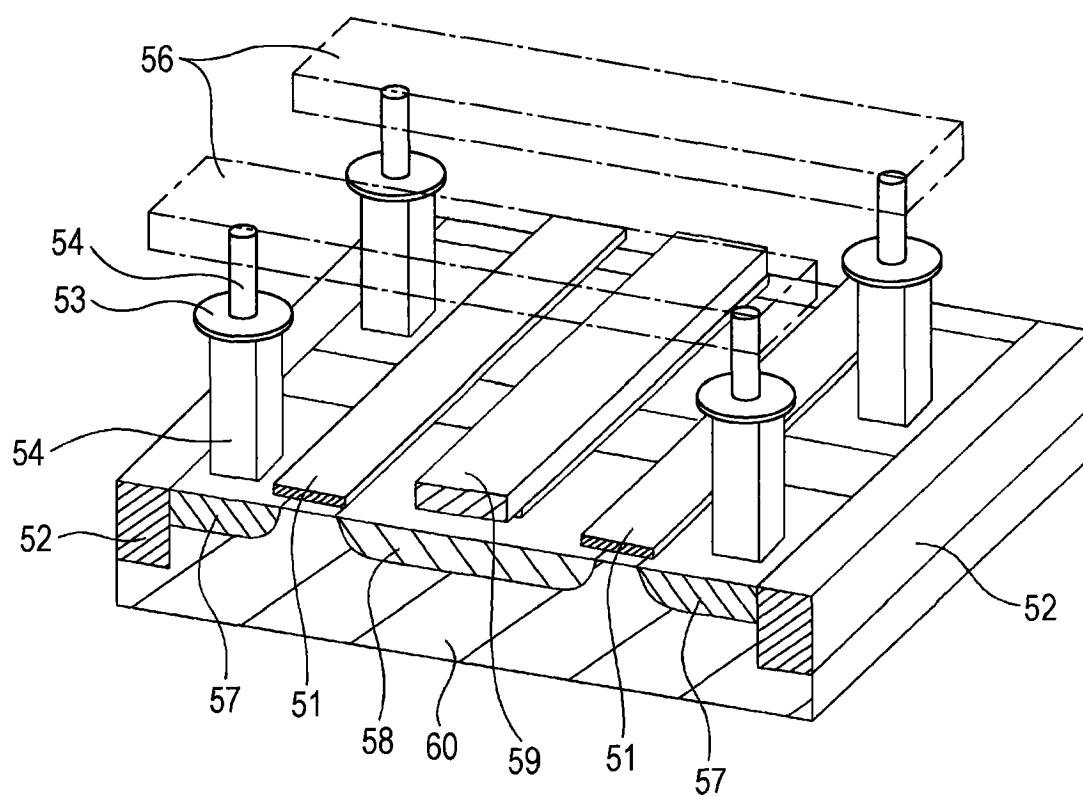


图 14

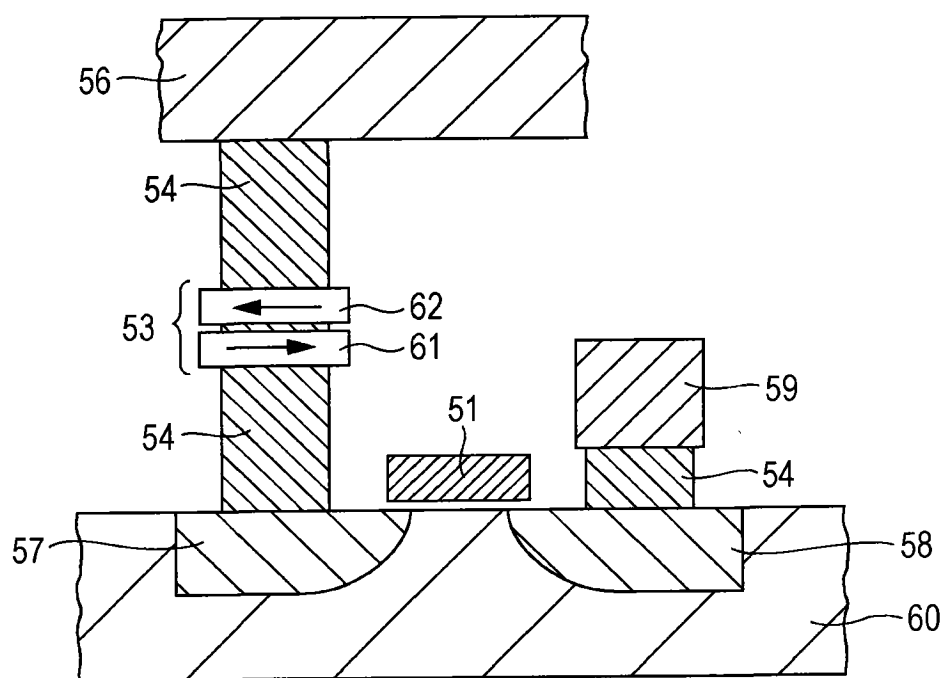


图 15