



(10) 授权公告号 CN 111052398 B

(45) 授权公告日 2023. 09. 29

(21) 申请号 201880052140.X

(22) 申请日 2018.08.31

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111052398 A

(43) 申请公布日 2020.04.21

(30) 优先权数据
2017-169733 2017.09.04 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.02.11

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2018/032404 2018.08.31

(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/045055 JA 2019.03.07

(73) 专利权人 TDK株式会社
地址 日本东京都

(72) 发明人 须田庆太 佐佐木智生

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322
专利代理师 杨琦 吕秀平

(51) Int.Cl.
H01L 29/82 (2006.01)
H10B 61/00 (2023.01)
H01L 27/105 (2023.01)
H10N 50/10 (2023.01)

(56) 对比文件
JP 2017059679 A, 2017.03.23
JP 2017059594 A, 2017.03.23
JP 2016046492 A, 2016.04.04
WO 2016021468 A1, 2016.02.11
US 2002078765 A1, 2002.06.27
US 2013001652 A1, 2013.01.03
US 2017194558 A1, 2017.07.06
JP 2013187250 A, 2013.09.19
US 2004042126 A1, 2004.03.04

审查员 方芳

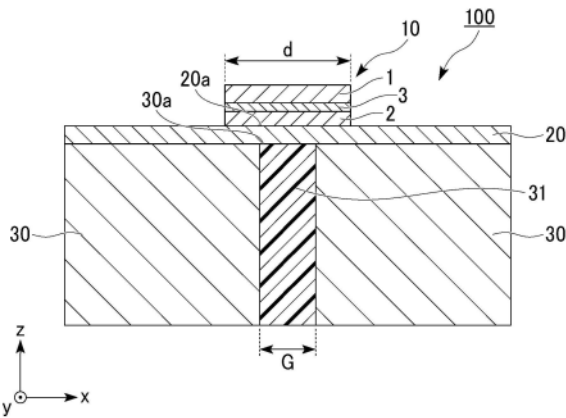
权利要求书2页 说明书11页 附图8页

(54) 发明名称

自旋轨道转矩型磁化反转元件和磁存储器

(57) 摘要

本实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件具有：铁磁性金属层，其磁化方向发生变化；自旋轨道转矩配线，其沿与上述铁磁性金属层的层叠方向交叉的第一方向延伸，并与上述铁磁性金属层接合；和两个通孔配线，其从上述自旋轨道转矩配线的与上述铁磁性金属层相反侧的表面沿交叉的方向延伸，并与半导体电路连接，上述两个通孔配线的上述第一方向的通孔间距离比上述铁磁性金属层的上述第一方向的宽度短。



1. 一种自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于,具有:

铁磁性金属层,其磁化方向发生变化;

自旋轨道转矩配线,其沿与所述铁磁性金属层的层叠方向交叉的第一方向延伸,并与所述铁磁性金属层接合;和

两个通孔配线,其从所述自旋轨道转矩配线的与所述铁磁性金属层相反侧的表面沿交叉的方向延伸,并与半导体电路连接,

所述两个通孔配线的所述第一方向的通孔间距离比所述铁磁性金属层的所述第一方向的宽度短,

在所述通孔配线和所述自旋轨道转矩配线之间还具有平坦化层,

所述平坦化层为含有Ti或Ta的氮化物。

2. 如权利要求1所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于:

所述自旋轨道转矩配线在层叠方向具有层叠结构,

所述自旋轨道转矩配线的所述铁磁性金属层侧的第一层的电阻值比所述通孔配线侧的第二层的电阻值低。

3. 如权利要求1或2所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于:

在层叠有所述铁磁性金属层的层叠面上,所述两个通孔配线与将所述两个通孔配线之间绝缘的层间绝缘部的维氏硬度差为3GPa以下。

4. 如权利要求1或2所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于:

在所述铁磁性金属层的与所述自旋轨道转矩配线相反侧的表面上还具有非磁性层和磁化的方向相对于所述铁磁性金属层被固定的磁化固定层。

5. 如权利要求4所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于:

所述铁磁性金属层的从铅直方向俯视时的面积大于所述磁化固定层的从所述铅直方向俯视时的面积。

6. 如权利要求1所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于:

所述平坦化层与所述通孔配线和所述自旋轨道转矩配线接触。

7. 如权利要求5所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于:

所述铅直方向是所述层叠方向。

8. 一种磁存储器,其特征在于:

具有多个权利要求1~5中任一项所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件。

9. 一种自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于,具有:

铁磁性金属层,其磁化方向发生变化;

自旋轨道转矩配线,其沿与所述铁磁性金属层的层叠方向交叉的第一方向延伸,并与所述铁磁性金属层接合;和

两个通孔配线,其从所述自旋轨道转矩配线的与所述铁磁性金属层相反侧的表面沿交叉的方向延伸,并与半导体电路连接,

所述两个通孔配线的所述第一方向的通孔间距离比所述铁磁性金属层的所述第一方向的宽度短,

在层叠有所述铁磁性金属层的层叠面上,所述两个通孔配线与将所述两个通孔配线之间绝缘的层间绝缘部的维氏硬度差为3GPa以下。

10. 如权利要求9所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于:

所述自旋轨道转矩配线在层叠方向具有层叠结构,

所述自旋轨道转矩配线的所述铁磁性金属层侧的第一层的电阻值比所述通孔配线侧的第二层的电阻值低。

11. 如权利要求9所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于:

在所述铁磁性金属层的与所述自旋轨道转矩配线相反侧的表面上还具有非磁性层和磁化的方向相对于所述铁磁性金属层被固定的磁化固定层。

12. 如权利要求11所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于:

所述铁磁性金属层的从铅直方向俯视时的面积大于所述磁化固定层的从所述铅直方向俯视时的面积。

13. 如权利要求12所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件,其特征在于:

所述铅直方向是所述层叠方向。

14. 一种磁存储器,其特征在于:

具有多个权利要求9~13中任一项所述的自旋轨道转矩型磁化反转元件。

自旋轨道转矩型磁化反转元件和磁存储器

技术领域

[0001] 本发明涉及自旋轨道转矩型磁化反转元件和磁存储器。

[0002] 本申请基于2017年9月4日日本所提出的特愿2017-169733号主张优先权,在此引用其内容。

背景技术

[0003] 已知有由铁磁性层和非磁性层的多层膜构成的巨磁阻(GMR)元件和非磁性层使用了绝缘层(隧道势垒层、势垒层)的隧道磁阻(TMR)元件。这些元件作为磁传感器、高频部件、磁头以及非易失性随机存储器(MRAM)用的元件备受关注。

[0004] 在MRAM中,利用夹着绝缘层的两个铁磁性层彼此的磁化方向发生变化时GMR元件或TMR元件的元件电阻发生变化这种特性读写数据。作为MRAM的写入方式,已知有利用电流形成的磁场进行写入(磁化反转)的方式、或利用在磁阻效应元件的层叠方向流动电流而产生的自旋转移转矩(STT)进行写入(磁化反转)的方式。

[0005] 从能量的效率的观点来考虑,使用了STT的TMR元件的磁化反转是有效的,但用于进行磁化反转的反转电流密度高。从TMR元件的长寿命的观点来看,希望该反转电流密度低。该点对于GMR元件也同样。

[0006] 因此,近年来,作为降低反转电流的方法,利用了通过自旋轨道相互作用生成的纯自旋流的磁化反转备受关注(例如,非专利文献1)。其机制尚未充分明确,但认为通过自旋轨道相互作用生成的纯自旋流或异种材料的界面的拉什巴Rashba效应诱导自旋轨道转矩(SOT),产生磁化反转。纯自旋流通过向上自旋的电子和向下自旋电子以相同数量彼此反向流动而产生,电荷的流动相互抵消。因此,在磁阻效应元件上流过的电流为零,期待磁阻效应元件的长寿命化。

[0007] 这些磁性元件相比于单独使用,多少情况为集中使用。多个元件分别与半导体电路连接,成为集成电路(IC)。磁阻效应元件通过层叠多个原子层级的层而成。因此,与组装在现有的集成电路的电容器或二极管等比较,为了组装在集成电路内而要求更精密的控制。

[0008] 例如,层叠有磁阻效应元件的层叠面的微小凹凸引起磁阻效应元件的磁阻变化率的降低以及特性的偏差。因此,专利文献1~3记载的磁性元件使形成通孔配线的位置和层叠有磁阻效应元件的层叠面在面内方向错开(例如,专利文献1~3)。

[0009] 现有技术文献

[0010] 专利文献

[0011] 专利文献1:日本特开2010-10485号公报

[0012] 专利文献2:日本特开2012-186372号公报

[0013] 专利文献3:日本特开2014-82353号公报

[0014] 非专利文献

[0015] 非专利文献1:I.M.Miron,K.Garello,G.Gaudin,P.-J.Zermatten,M.V.Costache,

S.Auffret, S.Bandiera, B.Rodmacq, A.Schuhl, and P.Gambardella, Nature, 476, 189 (2011).

发明内容

[0016] 发明所要解决的技术问题

[0017] 但是,当磁阻效应元件和通孔配线存在于面内方向的位置时,需要确保磁阻效应元件和通孔配线的各自的面积,不能有效地使多数的元件集成在一个集成电路内。

[0018] 另外,将通孔配线配置为与磁阻效应元件的面内位置重叠时,扰乱层叠有磁阻效应元件的层叠面的平坦性的可能性高,本领域技术人员回避该情况。

[0019] 特别是在自旋轨道转矩型磁化反转元件的情况下,回避这样的配置。自旋轨道转矩型磁化反转元件中,用于使电流在与磁阻效应元件的层叠方向交叉的位置延伸的自旋轨道转矩配线上流动的两个通孔配线是必要的。两个通孔配线和磁阻效应元件的面内位置重叠时,层叠面由不同的多个部件构成,扰乱层叠面的平坦性的可能性更高。另外,理想的是在自旋轨道转矩配线流动的电流在相对于与磁阻效应元件的层叠界面正交的方向上流动,但当通孔配线和磁阻效应元件的面内位置重叠时,在自旋轨道转矩配线上流动的电流容易具有倾斜流动的分量。

[0020] 本发明是鉴于上述情况而完成的发明,其目的在于:提供自旋轨道转矩型磁化反转元件的集成性。

[0021] 用于解决技术问题的技术方案

[0022] 本发明的发明人进行深入研究,结果发现,即使在将两个通孔配线和磁阻效应元件的面内位置以重叠的方式配设的情况下,自旋轨道转矩型磁化反转元件也显示充分的性能。即,发现被本领域技术人员回避的、将两个通孔配线和磁阻效应元件的面内位置重叠的技术是可能的,发现在集成电路内能够将自旋轨道转矩型磁化反转元件有效地集成化。

[0023] 本发明为了解决上述技术问题而提供以下的方案。

[0024] (1) 第一方式提供一种自旋轨道转矩型磁化反转元件,其具有:铁磁性金属层,其磁化方向发生变化;自旋轨道转矩配线,其沿与上述铁磁性金属层的层叠方向交叉的第一方向延伸,并与上述铁磁性金属层接合;两个通孔配线,其从上述自旋轨道转矩配线的与上述铁磁性金属层相反侧的面交叉的方向延伸,并与半导体电路连接,上述两个通孔配线的上述第一方向的通孔间距离比上述铁磁性金属层的上述第一方向的宽度短。

[0025] (2) 在上述方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件中,上述自旋轨道转矩配线可以在层叠方向具有层叠结构,上述自旋轨道转矩配线的上述铁磁性金属层侧的第一层的电阻值可以比上述通孔配线侧的第二层的电阻值低。

[0026] (3) 在上述方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件中,在上述通孔配线和上述自旋轨道转矩配线之间可以还具有平坦化层。

[0027] (4) 在上述方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件中,上述平坦化层可以为含有Ti或Ta的氮化物。

[0028] (5) 在上述方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件中,在层叠有上述铁磁性金属层的层叠面上,上述两个通孔配线与将上述两个通孔配线之间绝缘的层间绝缘部的维氏硬度差可以为3GPa以下。

[0029] (6) 在上述方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件中,在上述铁磁性金属层的与上述自旋轨道转矩配线相反侧的表面上还可以具有非磁性层和磁化的方向相对于上述铁磁性金属层被固定的磁化固定层。

[0030] (7) 在上述方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件中,可以是上述铁磁性金属层的从上述铅直方向俯视时的面积大于上述磁化固定层的从上述铅直方向俯视时的面积的构成。

[0031] (8) 第二实施方式提供一种磁存储器,其具有多个上述方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件。

[0032] 发明效果

[0033] 根据本发明,可以提供能够提高集成性的自旋轨道转矩型磁化反转元件。

附图说明

[0034] 图1是第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件的截面示意图。

[0035] 图2是用于对自旋霍尔效应进行说明的示意图。

[0036] 图3是第二实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件的截面示意图。

[0037] 图4是放大第三实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件的主要部分的截面示意图。

[0038] 图5是第四实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件的截面示意图。

[0039] 图6是第五实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件的截面示意图。

[0040] 图7是包含第一实施方式~第五实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件的磁存储器的示意图。

[0041] 图8是比较例1涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件的截面示意图。

[0042] 图9是表示实施例1和比较例1的研究结果的曲线图。

具体实施方式

[0043] 以下,参照附图详细说明本发明的实施方式。此外,在附图的说明中,在相同的要素上标注相同的符号,省略重复的说明。

[0044] [第一实施方式]

[0045] (自旋轨道转矩型磁化反转元件)

[0046] 图1是示意性表示第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件的立体图。

[0047] 第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100具有磁阻效应元件10、自旋轨道转矩配线20和两个通孔配线30。

[0048] 以下,将通孔配线30从自旋轨道转矩配线20延伸的铅直方向设定为z方向,将自旋轨道转矩配线20延伸的第一方向设定为x方向,将与z方向和x方向的任一方向都正交的第二方向设定为y方向。

[0049] <磁阻效应元件>

[0050] 磁阻效应元件10具有固定了磁化方向的第一铁磁性金属层1、磁化方向发生变化的第二铁磁性金属层2、被第一铁磁性金属层1和第二铁磁性金属层2夹持的非磁性层3。

[0051] 磁阻效应元件10通过第一铁磁性金属层1的磁化固定于一个方向,且第二铁磁性

金属层2的磁化方向相对地变化而发挥作用。在适用于矫顽力差型(伪自旋阀型:Pseudo spin valve型)的MRAM的情况下,使磁阻效应元件的第一铁磁性金属层的矫顽力大于第二铁磁性金属层的矫顽力。在适用于交换偏置型(自旋阀:spin valve型)的MRAM的情况下,通过与反铁磁性层的交换耦合来固定磁阻效应元件的第一铁磁性金属层的磁化。

[0052] 磁阻效应元件10在非磁性层3由绝缘体构成的情况下,是隧道磁阻(TMR:Tunneling Magnetoresistance)元件,在非磁性层3由金属构成的情况下,是巨磁阻(GMR:Giant Magnetoresistance)元件。

[0053] 磁阻效应元件的层叠结构能够采用公知的磁阻效应元件的层叠结构。例如,各层可以由多层构成,也可以具有用于固定第一铁磁性金属层1的磁化方向的反铁磁性层等的其他的层。第一铁磁性金属层1被称为固定层或参照层,第二铁磁性金属层2被称为自由层或存储层等。

[0054] 作为第一铁磁性金属层1的材料,能够使用公知的材料。例如,能够使用选自Cr、Mn、Co、Fe和Ni中的金属以及含有1种以上这些金属且显示铁磁性的合金。另外,也可以使用含有这些金属、和B、C及N中的至少一种以上的元素的合金。具体而言,可以列举Co-Fe或Co-Fe-B。

[0055] 另外,为了得到更高的输出,优选使用 Co_2FeSi 等霍伊斯勒合金。霍伊斯勒合金包含具有 X_2YZ 的化学组成的金属间化合物,X是周期表上Co、Fe、Ni或Cu族的过渡金属元素或贵金属元素,Y是Mn、V、Cr或Ti族的过渡金属或上述的X的元素种类,Z是III族~V族的典型元素。例如,可以列举 Co_2FeSi 、 Co_2MnSi 或 $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-a}\text{Fe}_a\text{Al}_b\text{Si}_{1-b}$ 等。

[0056] 另外,为了进一步增大第一铁磁性金属层1相对于第二铁磁性金属层2的矫顽力,作为与第一铁磁性金属层1相接的材料,也可以使用IrMn、PtMn等反铁磁性材料。另外,为了使第一铁磁性金属层1的漏磁场不影响第二铁磁性金属层2,也可以形成合成铁磁性耦合的结构。

[0057] 另外,在将第一铁磁性金属层1的磁化的方向设定为相对于层叠面垂直的情况下,优选使用Co和Pt的层叠膜。具体而言,第一铁磁性金属层1从非磁性层3侧可以依次设定为 $\text{FeB}(1.0\text{nm})/\text{Ta}(0.2\text{nm})/[\text{Pt}(0.16\text{nm})/\text{Co}(0.16\text{nm})]_4/\text{Ru}(0.9\text{nm})/[\text{Co}(0.24\text{nm})/\text{Pt}(0.16\text{nm})]_6$ 。

[0058] 作为第二铁磁性金属层2的材料,能够应用铁磁性材料、特别是软磁性材料。例如,能够使用选自Cr、Mn、Co、Fe和Ni的金属、含有1种以上这些金属的合金、含有这些金属、和B、C及N中的至少一种以上的元素的合金等。具体而言,可以列举Co-Fe、Co-Fe-B、Ni-Fe。

[0059] 在将第二铁磁性金属层2的磁化方向设定为相对于层叠面垂直的情况下,优选将第二铁磁性金属层2的厚度设定为2.5nm以下。在第二铁磁性金属层2与非磁性层3的界面,能够向第二铁磁性金属层2附加垂直磁各向异性。另外,由于垂直磁各向异性因加厚第二铁磁性金属层2的膜厚而效果衰减,所以优选第二铁磁性金属层2的膜厚薄。

[0060] 非磁性层3可以使用公知的材料。

[0061] 例如,在非磁性层3由绝缘体构成的情况下(为隧道势垒层的情况),作为其材料,可以使用 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 、 Ga_2O_3 和 MgAl_2O_4 等。另外,除了这些材料以外,还可以使用将Al、Si、Mg的一部分置换为Zn、Be等的材料等。另外,还可以使用将 MgAl_2O_4 的Mg置换为Zn的材料、将Al置换为Ga和/或In的材料等。这些中, MgO 、 MgAl_2O_4 与其他的层的晶格匹配性高。

[0062] 在非磁性层3由金属构成的情况下,作为其材料,可以使用Cu、Ag等。另外,还可以使用Ag—Sn或Ag—Mg等合金。另外,在非磁性层3由半导体构成的情况下,作为其材料,能够使用Si、Ge、CuInSe₂、CuGaSe₂、Cu(In,Ga)Se₂等。

[0063] 另外,磁阻效应元件10也可以具有其他的层。例如,可以在第二铁磁性金属层2的与非磁性层3相反侧的表面具有基底层,也可以在第一铁磁性金属层1的与非磁性层3相反侧的表面具有覆盖层。

[0064] 配设于自旋轨道转矩配线20与磁阻效应元件10之间的层优选不散逸从自旋轨道转矩配线20传播的自旋。例如,已知银、铜、镁和铝等,其自旋扩散长度长为100nm以上,难以散逸自旋。

[0065] 另外,该层的厚度优选为构成层的物质的自旋扩散长以下。层的厚度只要为自旋扩散长以下,就能够将从自旋轨道转矩配线20传播的自旋充分地传递到磁阻效应元件10。

[0066] <自旋轨道转矩配线>

[0067] 自旋轨道转矩配线20沿x方向延伸。自旋轨道转矩配线20与第二铁磁性金属层2的z方向的一表面连接。自旋轨道转矩配线20也可以与第二铁磁性金属层2直接连接,也可以经由其他的层连接。

[0068] 自旋轨道转矩配线20由流动电流时通过自旋霍尔效应而生成纯自旋流的材料构成。作为该材料,只要是在自旋轨道转矩配线20中生成纯自旋流的结构的材料即可。因此,不限于由单质的元素构成的材料,也可以是由生成纯自旋流的材料构成的部分和由不生成纯自旋流的材料构成的部分所构成的材料等。

[0069] 自旋霍尔效应是指在材料中流动电流的情况下,基于自旋轨道相互作用,在与电流的方向正交的方向诱导纯自旋流的现象。

[0070] 图2是用于对自旋霍尔效应进行说明的示意图。图2是将图1所示的自旋轨道转矩配线20沿着x方向切断而得到的截面图。基于图2,通过自旋霍尔效应说明生成纯自旋流的机制。

[0071] 如图2所示,在自旋轨道转矩配线20的延伸方向流动电流I时,向纸面里侧取向的第一自旋S1和向纸面前侧取向的第二自旋S2分别向与电流正交的方向扭曲。通常的霍尔效应和自旋霍尔效应在运动(移动)的电荷(电子)扭曲运动(移动)方向的方面是共通的,但通常的霍尔效应在磁场中运动的荷电粒子受到劳伦兹力而使运动方向扭曲,与之相对,在自旋霍尔效应中,为了不存在磁场,只有电子移动(只有电流流动),使移动方向扭曲,在这一点上大不相同。

[0072] 在非磁性体(不是铁磁性体的材料)中,第一自旋S1的电子数和第二自旋S2的电子数相等,因此,图中朝向上方向的第一自旋S1的电子数和朝向下方向的第二自旋S2的电子数相等。因此,作为电荷的净流量的电流为零。不伴随该电流的自旋流被特别称为纯自旋流。

[0073] 在铁磁性体中流动电流的情况下,第一自旋S1和第二自旋S2相互向相反方向扭曲这一点相同。另一方面,在铁磁性体中,第一自旋S1和第二自旋S2的任一方为较多的状态,作为结果,产生电荷的净流量(产生电压)这一点不同。因此,作为自旋轨道转矩配线20的材料,不包含仅由铁磁性体构成的材料。

[0074] 在将第一自旋S1的电子的流动表示为 J_{\uparrow} ,将第二自旋S2的电子的流动表示为 J_{\downarrow} ,将

自旋流表示为 J_s 时,以 $J_s = J_{\uparrow} - J_{\downarrow}$ 定义。图2中,作为纯自旋流, J_s 向图中的上方向流动。 J_s 是极化率为100%的电子的流动。

[0075] 在图1中,使铁磁性体与自旋轨道转矩配线20的上表面接触时,纯自旋流扩散流入到铁磁性体中。即,向磁阻效应元件10中注入自旋。

[0076] 自旋轨道转矩配线20也可以含有非磁性的重金属。所谓重金属以具有钪以上的比重的金属的意义使用。自旋轨道转矩配线20可以仅由非磁性的重金属构成。

[0077] 该情况下,非磁性的重金属优选为在最外壳具有d电子或f电子的原子序数39以上的原子序数大的非磁性金属。这是因为该非磁性金属产生自旋霍尔效应的自旋轨道相互作用较大。自旋轨道转矩配线20也可以仅由在最外壳具有d电子或f电子的原子序数39以上的原子序数大的非磁性金属构成。

[0078] 通常,在金属中流动电流时,所有的电子不管其自旋的方向,均向电流的反方向移动,与此相对,在最外壳具有d电子或f电子的原子序数大的非磁性金属中,自旋轨道相互作用大,因此,通过自旋霍尔效应,电子运动方向依赖于电子的自旋的方向,容易产生纯自旋流 J_s 。

[0079] 另外,自旋轨道转矩配线20也可以包含磁性金属。磁性金属是指铁磁性金属或反铁磁性金属。这是因为非磁性金属中含有微量的磁性金属时,自旋轨道相互作用增强,能够提高相对于在自旋轨道转矩配线20中流动的电流的自旋流生成效率。自旋轨道转矩配线20也可以仅由反铁磁性金属构成。

[0080] 自旋轨道相互作用通过自旋轨道转矩配线材料的物质的固有的内场而产生,因此,利用非磁性材料也能够产生纯自旋流。在自旋轨道转矩配线材料中添加微量的磁性金属时,将磁性金属本身流动的电子自旋散射,因此,自旋流生成效率提高。但是,磁性金属的添加量过于增大时,产生的纯自旋流因所添加的磁性金属而散射,因此,作为结果,自旋流减少的作用变强。因此,所添加的磁性金属的摩尔比优选比自旋轨道转矩配线的纯自旋生成部的主成分的摩尔比充分小。以目标而言,所添加的磁性金属的摩尔比优选为3%以下。

[0081] 另外,自旋轨道转矩配线20也可以含有拓扑绝缘体。自旋轨道转矩配线20也可以仅由拓扑绝缘体构成。拓扑绝缘体是指,物质内部为绝缘体或高电阻体,但在其表面产生自旋极化的金属状态的物质。物质中具有自旋轨道相互作用这种的内部磁场那样的物质。因此,即使没有外部磁场,通过自旋轨道相互作用的效果也会表现新的拓扑相。这是拓扑绝缘体,通过强的自旋轨道相互作用和边缘的反转对称性的破坏,能够高效地生成纯自旋流。

[0082] 作为拓扑绝缘体,例如优选 SnTe 、 $\text{Bi}_{1.5}\text{Sb}_{0.5}\text{Te}_{1.7}\text{Se}_{1.3}$ 、 TlBiSe_2 、 Bi_2Te_3 、 $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ 、 $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$ 等。这些拓扑绝缘体能够高效率地生成自旋流。

[0083] <通孔配线>

[0084] 通孔配线30从自旋轨道转矩配线20的与第二铁磁性金属层2相反侧的表面沿与自旋轨道转矩配线20交叉的方向延伸。图1中,沿自旋轨道转矩配线20的铅直方向延伸。通孔配线30的与自旋轨道转矩配线20相反侧的端部与半导体电路连接。例如晶体管、电阻元件、电容器等与通孔配线30所连接的半导体电路连接。

[0085] 如图1所示,两个通孔配线30的x方向的通孔间距离G比第二铁磁性金属层2的x方向的宽度d短。通孔间距离G比第二铁磁性金属层2的x方向的宽度d短时,从z方向看时,通孔配线30和磁阻效应元件10重叠。

[0086] 从z方向看时,磁阻效应元件10和通孔配线30不重叠的情况下,由于为一个元件,因此需要与加上磁阻效应元件10和通孔配线30各自的面积相对应的面积。与其相对,从z方向看时,通孔配线30和磁阻效应元件10部分重叠时,一个元件所需要的面积能够减小其重叠的面积。即,能够将多个元件更有效地集成在集成电路内。

[0087] 通孔配线30的x方向和y方向的宽度是被设计好的,不能自由变更。例如,现有的半导体的最小加工尺寸(feature size:F)为7nm,通孔配线30的x方向和y方向的宽度最小为7nm。换言之,通孔配线30的x方向和y方向的宽度很难小于该尺寸,难以通过改变通孔配线30的面积来提高集成性。

[0088] 通孔配线30能够使用导电性高的材料。例如,可以列举铜、铝、银等。另外,除此以外,可以使用具有导电性的氮化膜等。

[0089] 两个通孔配线30之间通过层间绝缘部31绝缘。层间绝缘部31是将多层配线的配线间或元件间进行绝缘的绝缘层。层间绝缘部31可以使用与半导体器件等所使用的材料同样的材料。例如,可以使用氧化硅(SiO_x)、氮化硅(SiN_x)、碳化硅(SiC)、氮化铬(CrN)、碳氮化硅(SiCN)、氮氧化硅(SiON)、氧化铝(Al_2O_3)、氧化锆(ZrO_x)等。

[0090] 层间绝缘部31与通孔配线30的维氏硬度差优选为3GPa以下。层间绝缘部31与通孔配线30的维氏硬度差为3GPa以下时,能够通过化学机械研磨(CMP)等使层叠有自旋轨道转矩配线20的层叠面30a的研磨状态为一定程度。其结果是,能够使层叠有自旋轨道转矩配线20的层叠面30a平坦化。另外,如果将层叠面30a平坦化,则层叠有磁阻效应元件10的层叠面20a的平坦性也提高。

[0091] CMP是使用物理力和化学力,即使在一个面内存在不同的物质的情况下也能够同样进行研磨的方法之一。因此,即使层间绝缘部31和通孔配线30的维氏硬度差大,也能够提高平坦性。然而,构成磁阻效应元件10的各层的厚度为数nm左右,微小的阶梯差也影响磁阻效应元件10的特性(例如,磁阻效应元件10的磁化的取向性)。如果层间绝缘部31和通孔配线30的维氏硬度差为3GPa以下,则也能够抑制影响磁阻效应元件10的特性的程度的微小台阶差的产生。

[0092] 作为也没有微小台阶差的充分的平坦性的指标,优选满足以下的第一条件或第二条件的至少一者。

[0093] 第一条件是通孔配线30和层间绝缘部31的z方向的高度位置之差为1.5nm以下。该高度位置之差优选为1.2nm以下,更优选为1.0nm以下。

[0094] 通孔配线30和层间绝缘部31的z方向的高度位置之差是指从通孔配线30的z方向的最高点下降到层间绝缘部31的高度方向的平均面的垂线的长度。层间绝缘部31的高度方向的平均面是指在层间绝缘部31的z方向的平均高度位置延伸的面。

[0095] 第二条件是将通孔配线30和层间绝缘部31的z方向的高度位置之差除以层间绝缘部31的宽度d而得到的凸度为0.015以下。凸度优选为0.012以下,更优选为0.010以下。凸度是指层间绝缘部31比通孔配线30突出的情况下向突出方向的凸度,并且是指层间绝缘部31比通孔配线30凹陷的情况下向凹陷方向的凸度。

[0096] 作为层间绝缘部31和通孔配线30的维氏硬度差为3GPa以下的具体的组合,考虑如下的组合。

[0097] 例如,在层间绝缘部31为氧化硅的情况下,通孔配线30可以使用氮化钒。

[0098] 另外,例如,在层间绝缘部31为氧化锆的情况下,通孔配线30可以使用含有选自Nb、V和Al中的任意种的氮化物。

[0099] 另外,例如,在层间绝缘部31为氮化硅的情况下,通孔配线30可以使用含有选自Nb、Zr和Al中的任意种的氮化物。

[0100] 另外,例如,在层间绝缘部31使用氮化铬、单氮化硅、氧化铝的任意种的情况下,通孔配线30可以使用含有Ti或Zr的氮化物。

[0101] (自旋轨道转矩型磁化反转元件的动作)

[0102] 自旋轨道转矩型磁化反转元件100通过从自旋轨道转矩配线20注入的自旋诱导的自旋轨道转矩(SOT)而控制第二铁磁性金属层2的磁化方向。

[0103] 在向两个通孔配线30间施加电位差时,电流在自旋轨道转矩配线20延伸的x方向上流动。电流在自旋轨道转矩配线20内流动时,产生自旋霍尔效应。在通过自旋霍尔效应产生的一个方向取向的自旋注入到第二铁磁性金属层2内。注入到第二铁磁性金属层2内的自旋将自旋轨道转矩(SOT)施加给第二铁磁性金属层2的磁化,第二铁磁性金属层2的磁化的方向变化(写入动作)。

[0104] 根据第一铁磁性金属层1的磁化的方向和第二铁磁性金属层2的磁化的方向的相对角的变化,磁阻效应元件10的电阻值发生变化。通过检测磁阻效应元件10的电阻值变化,能够读出数据。

[0105] [第二实施方式]

[0106] 图3是第二实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件101的截面示意图。图3所示的自旋轨道转矩型磁化反转元件101在自旋轨道转矩配线20和通孔配线30之间形成有平坦化层32,在这一点上与第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100不同。在图3中,对于与第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100相同的结构,标注相同的符号,省略说明。

[0107] 平坦化层32是具有导电性,用于提高层叠有自旋轨道转矩配线20的层叠面30a的平坦性的层。平坦化层32能够使用含有选自Ti、Nb、V、Ta、Zr和Al中的任意种的氮化物。这些中,平坦化层32优选使用含有Ti或Ta的氮化物。

[0108] 层间绝缘部31与平坦化层32的维氏硬度差优选为3GPa以下。通过设有平坦化层32,能够提高构成通孔配线30的材料的选择性。层间绝缘部31与平坦化层32的维氏硬度差为3GPa以下的具体的组合与上述的层间绝缘部31和通孔配线30的关系相同。

[0109] 通过平坦化层32提高层叠面30a的平坦性,由此,能够进一步抑制影响磁阻效应元件10的特性的程度的微小台阶差的产生。另外,能够用于通孔配线30的材料的选择性提高,能够将导电性更高的物质用于通孔配线30。

[0110] [第三实施方式]

[0111] 图4是放大了第三实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件102的主要部分的截面示意图。图4所示的自旋轨道转矩型磁化反转元件102的自旋轨道转矩配线21为2层,在这一点上与第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100不同。在图4中,对于与第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100相同的结构,标注相同的符号,省略说明。

[0112] 图4所示的自旋轨道转矩型磁化反转元件102的自旋轨道转矩配线21在z方向具有

层叠结构。图4所示的自旋轨道转矩配线21具有第二铁磁性金属层2侧的第一层21A、通孔配线30侧的第二层21B。图4中,利用2层图示了自旋轨道转矩配线21的层叠结构,但也可以是3层以上的层叠结构。

[0113] 第一层21A的电阻值比第二层21B的电阻值低。在第一层21A的电阻值比第二层21B的电阻值低时,电流将在第一层21A侧流动。因此,电流I2从通孔配线30沿z方向首先向第一层21A流动后,沿x方向流动。与此相对,自旋轨道转矩配线为1层的情况下(第一实施方式),在通孔配线30和自旋轨道转矩配线20流动的电流I1流过最短距离。

[0114] 电流I2在磁阻效应元件10的z方向正下方的区域具有比电流I1多的x方向的分量。自旋霍尔效应在与电流的流动方向正交的方向上产生。因此,电流I2大量具有x方向的分量时,能够向第二铁磁性金属层2有效地注入自旋。

[0115] [第四实施方式]

[0116] 图5是第四实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件103的截面示意图。图5所示的自旋轨道转矩型磁化反转元件103的磁阻效应元件11的截面从第一铁磁性金属层1向第二铁磁性金属层2变宽,在这一点上与第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100不同。在图5中,对于与第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100相同的结构,标注相同的符号,省略说明。

[0117] 图5所示的自旋轨道转矩型磁化反转元件103的磁阻效应元件11的截面从第一铁磁性金属层1向第二铁磁性金属层2变宽。两个通孔配线的x方向的通孔间距离G比第二铁磁性金属层2的x方向的宽度d短。第二铁磁性金属层2的x方向的宽度d是指与自旋轨道转矩配线20的层叠界面的宽度。

[0118] 另外,第二铁磁性金属层2的从z方向俯视时的面积大于第一铁磁性金属层1的从z方向俯视时的面积。即,第二铁磁性金属层2的体积大于第一铁磁性金属层1的体积。第二铁磁性金属层2的体积大时,第二铁磁性金属层2的磁化的稳定性提高。第二铁磁性金属层2的磁化与第一铁磁性金属层1的磁化相比,磁化方向容易发生变化。第二铁磁性金属层2的磁化方向发生变化时,更新磁阻效应元件11保持的数据。第二铁磁性金属层2的磁化稳定化时,能够稳定地长时间保持数据。

[0119] 另外,第一铁磁性金属层1的x方向的宽度D优选比通孔间距离G窄。第一铁磁性金属层1的x方向的宽度D是指距自旋轨道转矩配线20最远的面的第一铁磁性金属层1的x方向的宽度。

[0120] 当第一铁磁性金属层1的x方向的宽度D变窄时,第一铁磁性金属层1成为高电阻。即,能够抑制流过自旋轨道转矩配线20的电流的一部分分流到磁阻效应元件11的层叠方向(z方向)。当提高在自旋轨道转矩配线20流过的电流的x分量时,通过SOT,能够更有效地使第二铁磁性金属层2的磁化旋转。

[0121] [第五实施方式]

[0122] 图6是第五实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件104的截面示意图。图6所示的自旋轨道转矩型磁化反转元件104不具有非磁性层3和第一铁磁性金属层1,在这一点上与第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100不同。在图6中,对于与第一实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100相同的结构,标注相同的符号,省略说明。

[0123] 图6所示的第五实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件104不具有非磁性层3和第一铁磁性金属层1。自旋轨道转矩型磁化反转元件104即使没有这些层,也作为元件发挥作用。例如,可以用作AMR(磁各向异性)传感器、利用磁卡效应或磁法拉第效应的空间光调制器。

[0124] 如上所述,第一实施方式~第五实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件从z方向看时,通孔配线和磁阻效应元件一部分重叠。因此,一个元件需要的面积可以减小其重叠的面积的部分,能够更有效地将多个元件集成在集成电路内。另外,通过具有多个第一实施方式~第五实施方式涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件,能够得到集成性优异的磁存储器200(图7)。

[0125] 以上,对本发明优选的实施方式进行了详述,但本发明不限于特定的实施方式,在请求保护的范围内记载的本发明的主旨的范围内,可以进行各种变形、变更。

[0126] 实施例

[0127] (实施例1)

[0128] 如图1所示,制作以从z方向看时通孔配线30和磁阻效应元件10以一部分重叠的方式配设的自旋轨道转矩型磁化反转元件100。

[0129] 在自旋轨道转矩型磁化反转元件100中,以第一铁磁性金属层1和第二铁磁性金属层2的磁化方向朝向z方向的方式将各层的结构和厚度按照以下构成。磁阻效应元件10的从z方向看时的平面形状为圆形,将其直径d设为100nm。第一铁磁性金属层1由CoFeB构成,厚度设定为1nm。非磁性层3由MgO构成,厚度设定为1nm。第二铁磁性金属层2设定为CoFeB(1.0nm)/W(0.15nm)/[Pt(0.16nm)/Co(0.16nm)]₄/Ru(0.9nm)/[Co(0.24nm)/Pt(0.16nm)]₆。另外,自旋轨道转矩配线20由W构成,厚度设定为3nm,Y方向的宽度设定为200nm。通孔配线30和层间绝缘部31分别由Cu和SiO₂制作,将通孔间距离G设定为90、80、70、60、50nm。

[0130] 测定了实施例1涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100的反转电流值。反转电流值和通孔间距离G示于表1。此外,反转电流是5nsec的脉冲,流通写入电流I_w,在x方向施加500e的磁场进行测定。磁化的方向根据在层叠方向流通读取电流I_r而产生的磁阻效应来判定。因此,关于反转电流值,交替施加写入电流I_w和读取电流I_r,增大写入电流I_w后,由读取电流I_r求出电阻变化,由该电阻变化来估算反转电流值。

[0131] [表1]

[0132]	通孔间距离G[nm]	90	80	70	60	50
	反转电流值[μA]	120	119	120	118	119

[0133] (比较例1)

[0134] 比较例1中,如图8所示,制作了从z方向看时通孔配线30和磁阻效应元件10不是一部分重叠的自旋轨道转矩型磁化反转元件105。

[0135] 图8所示的自旋轨道转矩型磁化反转元件105具有磁阻效应元件10、自旋轨道转矩配线20、通孔配线30、层间绝缘部31、半导体电路40。与半导体电路40相连的通孔配线30连接在自旋轨道转矩配线20的与层叠有磁阻效应元件10的面相同的面不同于磁阻效应元件的位置。用于比较例1的各结构的材料等与实施例1相同。另外,通孔间距离G设定为180、160、140、120、100nm,另外,自旋轨道转矩配线20由W构成,厚度设定为3nm,Y方向的宽度设定为200nm。磁阻效应元件10的从z方向看时的平面形状为圆形,其直径d设定为100nm。

[0136] 测定了比较例1涉及的自旋轨道转矩型磁化反转元件100的反转电流值。反转电流值和通孔间距离G示于表2。此外,反转电流为5nsec的脉冲,流通写入电流 I_w ,在x方向施加500e的磁场进行测定。磁化的方向根据在层叠方向流通读取电流 I_r 而产生的磁阻效应来判定。因此,关于反转电流值,交替施加写入电流 I_w 和读取电流 I_r ,增大写入电流 I_w 后,由读取电流 I_r 求出电阻变化,由该电阻变化估算反转电流值。

[0137] [表2]

[0138]	通孔间距离G[nm]	100	120	140	160	180
	反转电流值[μA]	122	124	127	125	126

[0139] 图9表示实施例1和比较例1的结果。实施例1中,尽管从z方向看时通孔配线30和磁阻效应元件10一部分重叠,但观测到反转电流值的减少。通常,由于从z方向看时通孔配线30和磁阻效应元件10重叠的部分几乎没有x方向的电流分量,所以可以认为重叠的部分难以产生磁化反转。然而,图9中,即使反转电流值和通孔间距离G在比磁阻效应元件10的x方向的长度d窄的区域,反转电流值也减少。另外,在一个存储单元上需要的面积因通孔间距离G比磁阻效应元件10的x方向的宽度小而减少,因此,能够形成比现有高的集成度的磁存储器。即,能够确认即使是本领域技术人员回避的结构也能够显示充分的特性,根据该结构能够确保充分的特性,并能够提高集成性。

[0140] 产业上的可利用性

[0141] 根据本发明,可以提供能够提高集成性的自旋轨道转矩型磁化反转元件。

[0142] 符号说明

[0143] 1…第一铁磁性金属层、2…第二铁磁性金属层、3…非磁性层、10、11…磁阻效应元件、20、21…自旋轨道转矩配线、21A…第一层、21B…第二层、30…通孔配线、31…层间绝缘部、32…平坦化层、40…半导体电路、100、101、102、103、104、105…自旋轨道转矩型磁化反转元件。

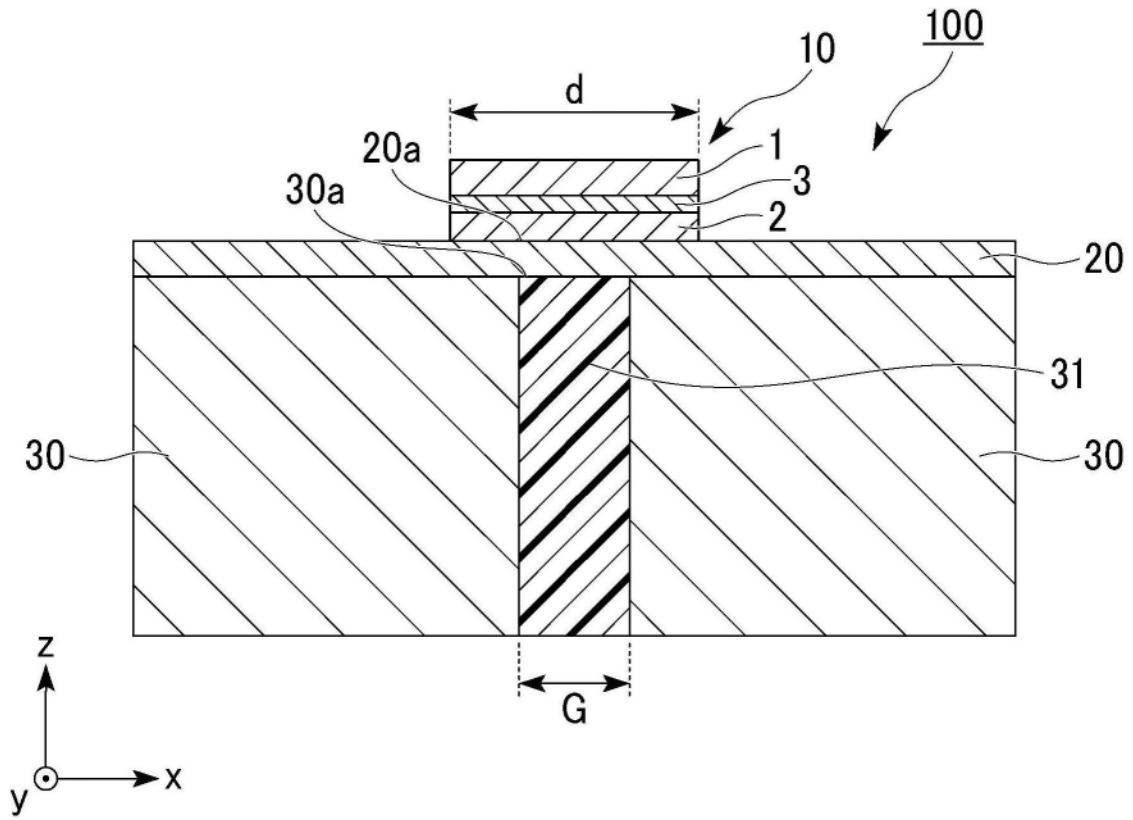


图1

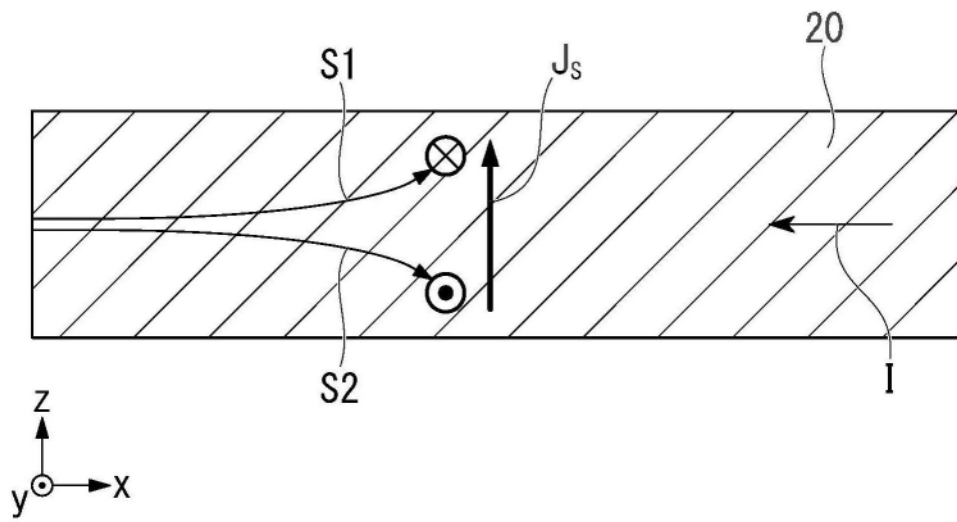


图2

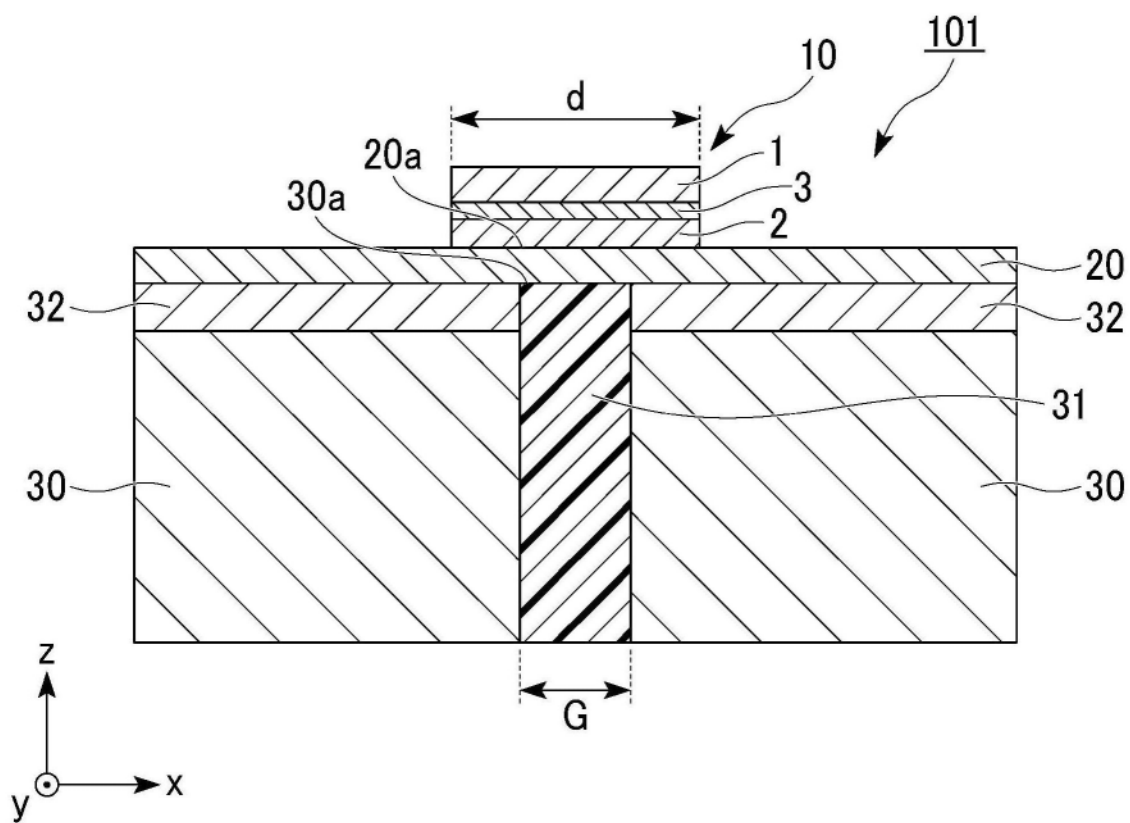


图3

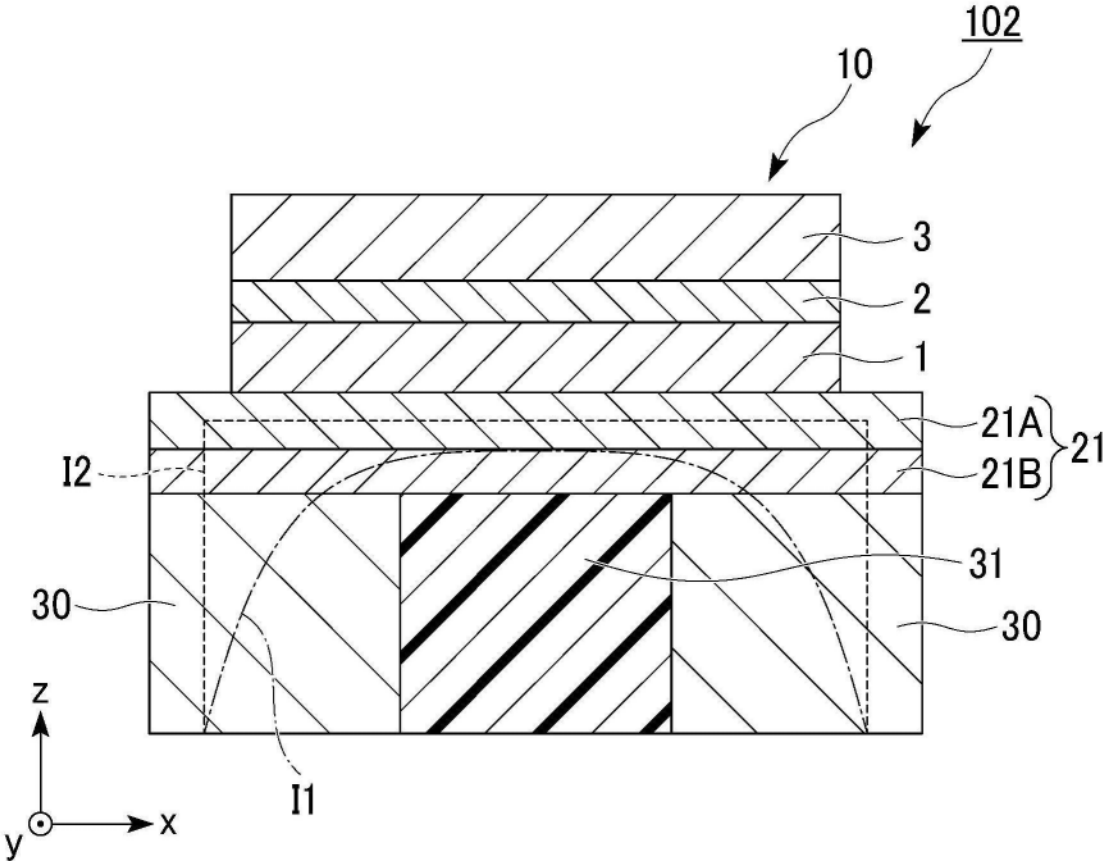


图4

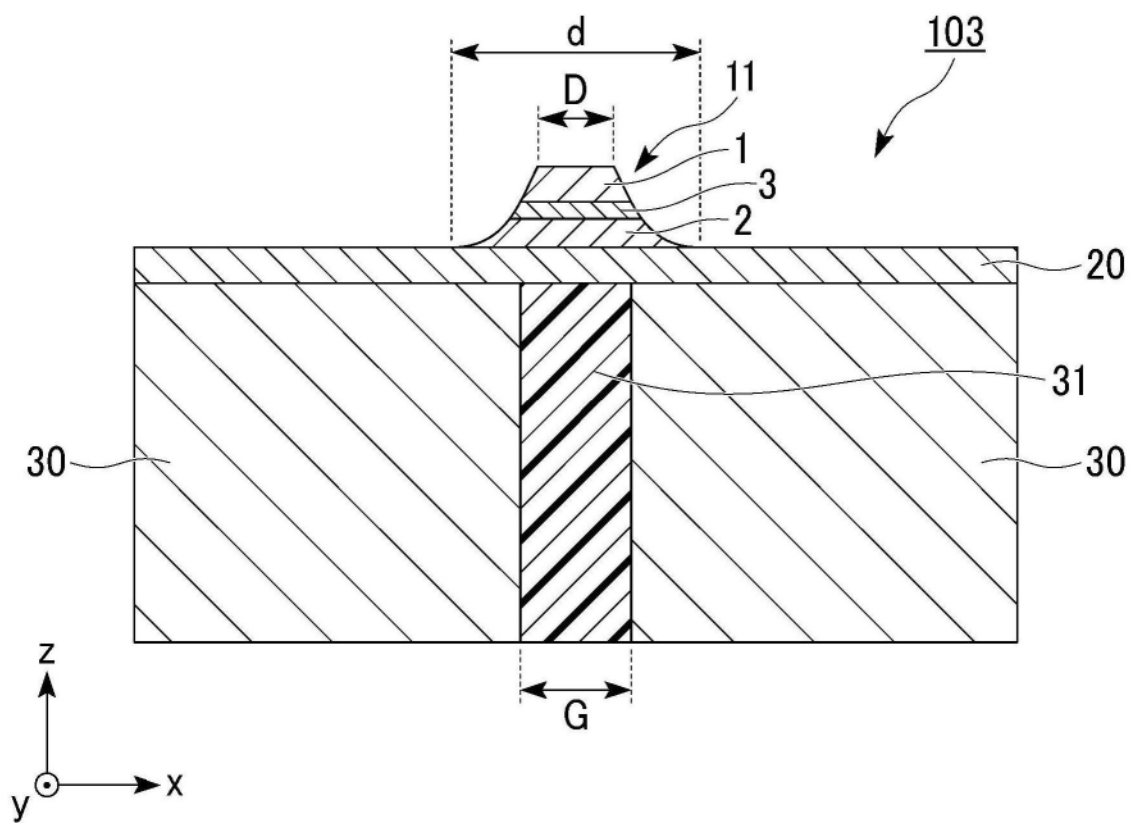


图5

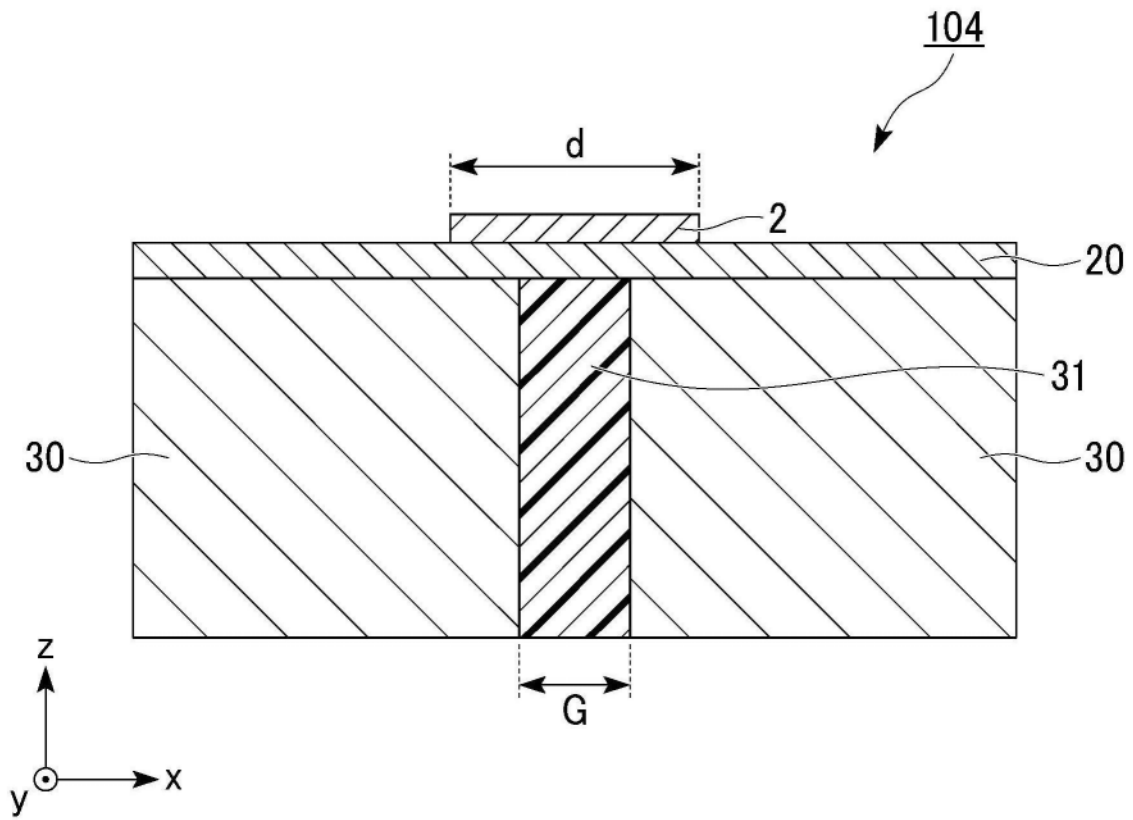


图6

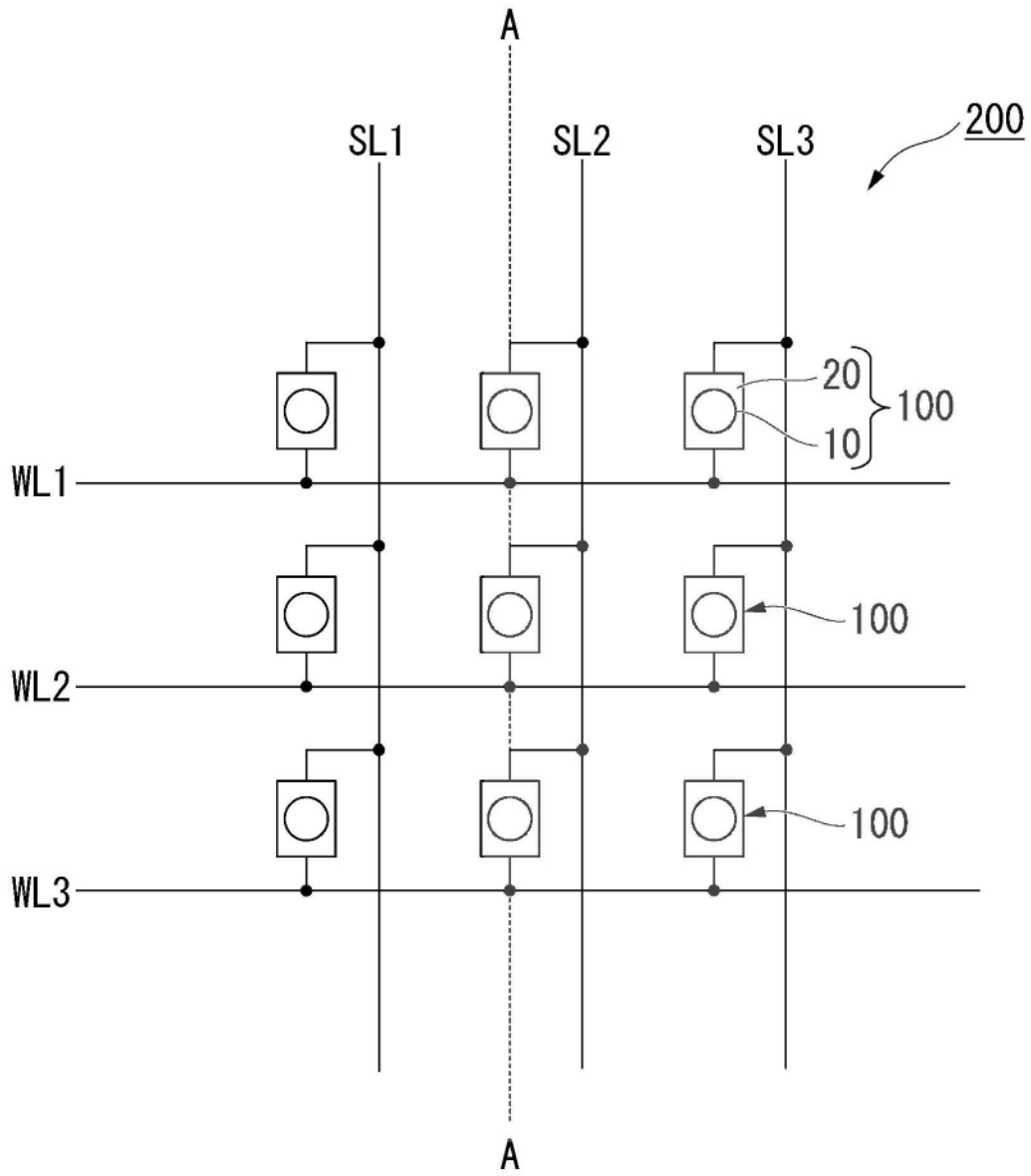


图7

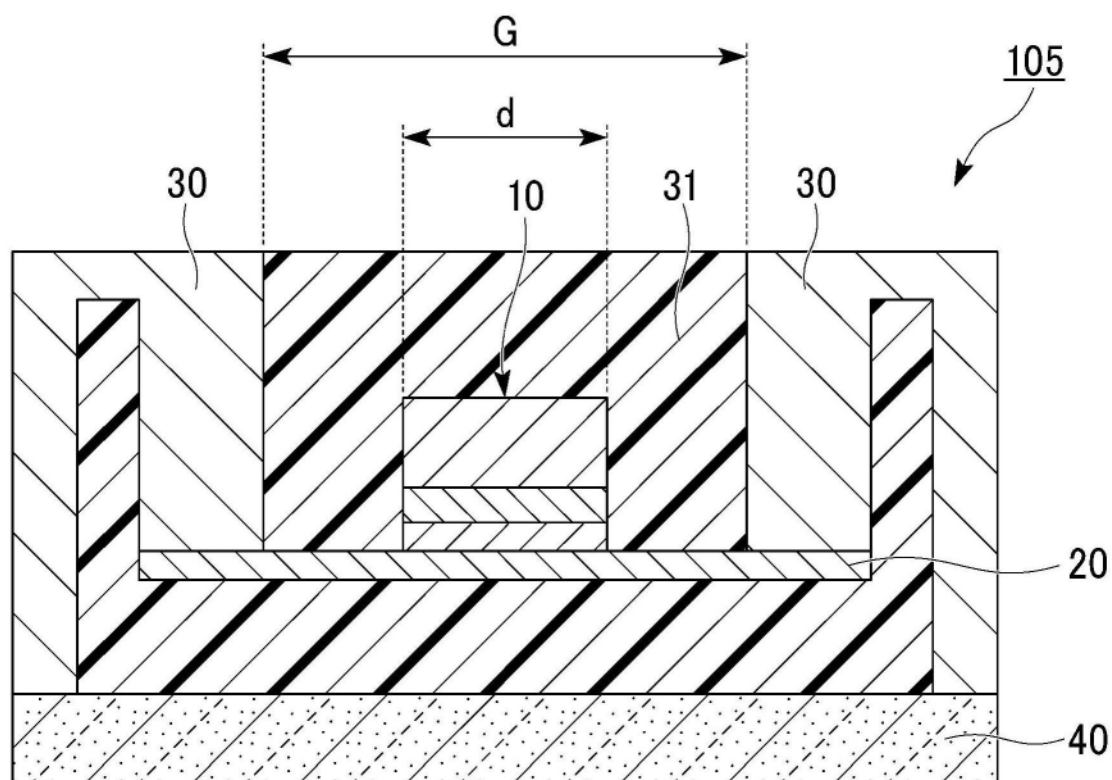


图8

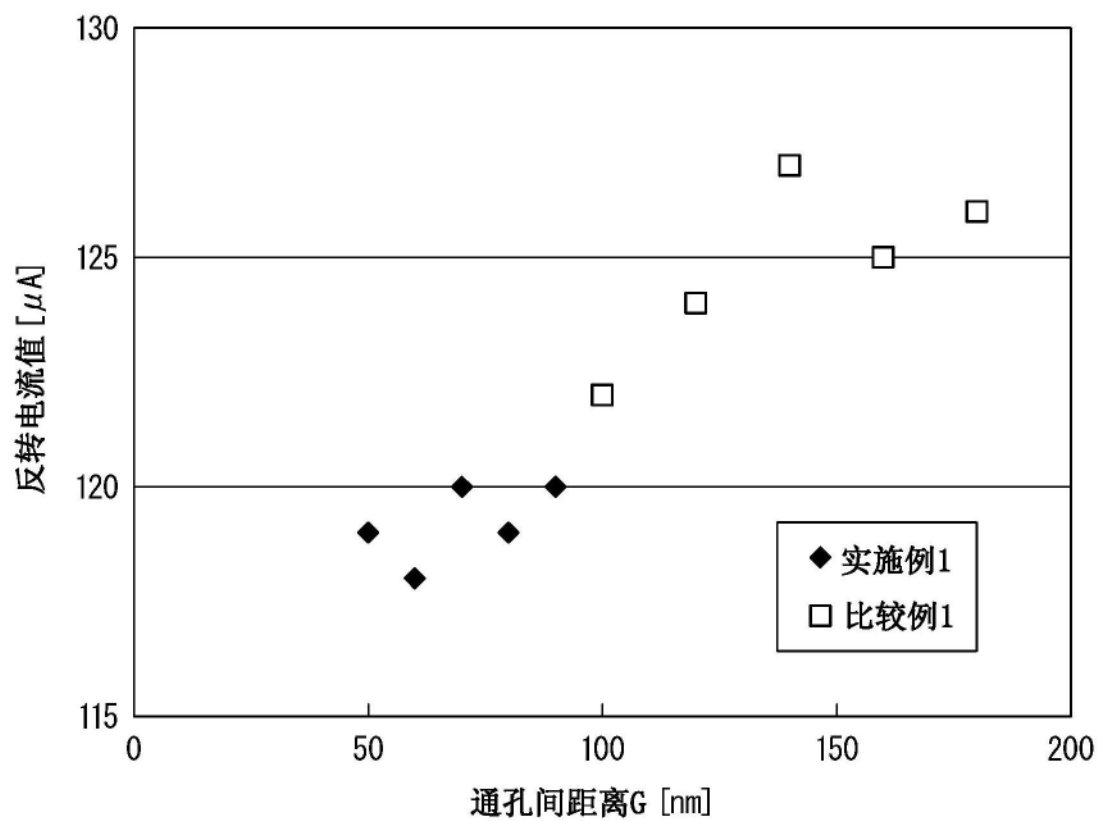


图9