



(45) 授权公告日 2021.10.29

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205

代理人 罗英 臧建明

(51) Int.Cl.

H01F 10/32 (2006.01)

H01F 10/12 (2006.01)

G01R 33/09 (2006.01)

B82Y 25/00 (2006.01)

(56) 对比文件

KR 20140120451 A, 2014.10.14

CN 101523503 A, 2009.09.02

KR 101446334 B1, 2014.10.01

CN 101297371 A, 2008.10.29

CN 105449096 A, 2016.03.30

CN 103109322 A, 2013.05.15

CN 1329742 A, 2002.01.02

JP 2010129105 A, 2010.06.10

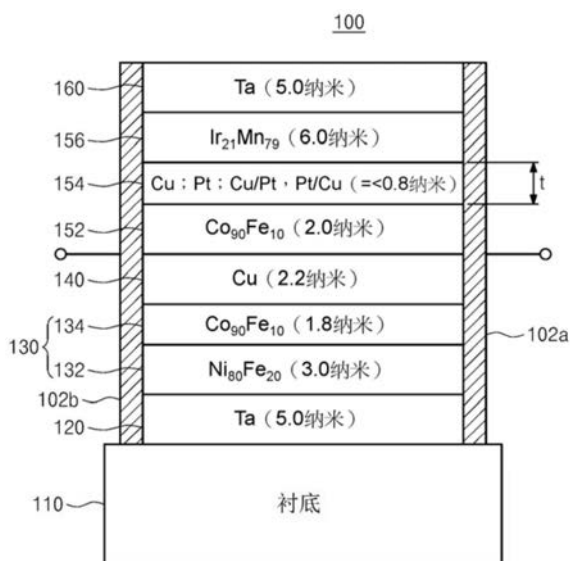
审查员 李娇娇

权利要求书2页 说明书10页 附图21页

磁裝置

(57) 摘要

本发明提供一种磁装置,包含:钉扎层,具有平面内磁化方向;自由层,具有平面内磁化方向,与钉扎层竖直间隔开以与钉扎层对准;导电间隔物层,安置在钉扎层与自由层之间;反铁磁层,安置以固定钉扎层的磁化方向且与钉扎层竖直间隔开以与钉扎层对准;以及贵金属间隔物层,安置在钉扎层与反铁磁层之间。



1. 一种磁装置,包括:

钉扎层,具有平面内固定磁化方向;

自由层,具有平面内旋转磁化方向,所述自由层与所述钉扎层竖直间隔开以与所述钉扎层对准,其中所述钉扎层的所述固定磁化方向与所述自由层的所述旋转磁化方向彼此相同或不同;

导电间隔物层,安置在所述钉扎层与所述自由层之间;

反铁磁层,安置以钉扎所述钉扎层的所述固定磁化方向且与所述钉扎层竖直间隔开以与所述钉扎层对准;以及

贵金属间隔物层,安置在所述钉扎层与所述反铁磁层之间,

其中所述钉扎层包含CoFe,且

所述自由层包含NiFe的第一铁磁层,所述第一铁磁层通过CoFe的第二铁磁层与所述导电间隔物层隔开,所述第二铁磁层安置成与所述导电间隔物层及所述第一铁磁层接触。

2. 根据权利要求1所述的磁装置,其中所述贵金属间隔物层是铜或铂的单层薄膜,或铜和铂的多层薄膜,且

所述贵金属间隔物层具有0.1纳米到0.8纳米的厚度。

3. 根据权利要求1所述的磁装置,其中所述自由层具有形状磁各向异性及平面内磁各向异性,且

所述磁装置与惠斯通电桥结构连接,

其中所述钉扎层的所述平面内固定磁化方向与所述磁装置的延伸方向成45度,

所述钉扎层的磁化方向匹配所述自由层的磁易轴。

4. 根据权利要求1所述的磁装置,其中所述导电间隔物层包含铜且具有2.2纳米的厚度。

5. 根据权利要求1所述的磁装置,其中所述贵金属间隔物层包含 Pt_2Cu_1 、 Cu_2Pt_1 或 Cu_3Pt_2 ,

其中每一下标指示埃单位的厚度。

6. 一种磁装置,包括:

钉扎层,具有平面内固定磁化方向;

自由层,具有平面内旋转磁化方向,所述自由层与所述钉扎层竖直间隔开以与所述钉扎层对准,其中所述钉扎层的所述固定磁化方向与所述自由层的所述旋转磁化方向彼此相同或不同;

导电间隔物层,安置在所述钉扎层与所述自由层之间;

反铁磁层,安置以钉扎所述钉扎层的所述固定磁化方向且与所述钉扎层竖直间隔开以与所述钉扎层对准;以及

贵金属间隔物层,安置在所述钉扎层与所述反铁磁层之间,

其中所述自由层具有沿着所述磁装置的延伸方向的形状磁各向异性及平面内磁各向异性,

其中所述钉扎层的所述平面内固定磁化方向与所述磁装置的所述延伸方向成45度,

所述钉扎层的磁化方向匹配所述自由层的磁易轴。

7. 根据权利要求6所述的磁装置,其中所述贵金属间隔物层是铜或铂的单层薄膜,或铜

和铂的多层薄膜,且

所述贵金属间隔物层具有0.1纳米到0.8纳米的厚度。

8.根据权利要求6所述的磁装置,其中所述自由层具有形状磁各向异性,且所述磁装置与惠斯通电桥结构连接。

9.根据权利要求6所述的磁装置,其中所述贵金属间隔物层包含 Pt_2Cu_1 、 Cu_2Pt_1 或 Cu_3Pt_2 ,
其中每一下标指示埃单位的厚度。

10.根据权利要求6所述的磁装置,其中所述钉扎层包含CoFe,且所述自由层包含NiFe的第一铁磁层和CoFe的第二铁磁层。

磁装置

技术领域

[0001] 本公开涉及磁装置,且更特定来说,涉及一种使用巨磁阻效应的磁装置或一种具有穿隧磁阻效应的磁装置,所述磁装置包含插入在反铁磁层与钉扎层之间的超薄贵金属间隔物层。

背景技术

[0002] 巨磁阻 (GMR) 效应是当在自旋阀结构中自由层和钉扎层的磁化方向彼此平行时电阻减小,且当自由层和钉扎层的磁化方向彼此反平行时电阻增大的现象。GMR效应是用于微机电系统 (MEMS) 中的磁传感器的重要核心技术,所述磁传感器例如生物传感器、硬盘读取头传感器以及振动传感器。可将巨磁阻 (GMR) 元件用作磁传感器。

发明内容

[0003] 技术挑战

[0004] 本公开的一方面是提供一种磁装置,所述磁装置遏制 (suppress) 由沿具有惠斯通 (Wheatstone) 电桥结构的磁传感器中的易磁化方向的外部磁场来产生的信号,并取决于沿难磁化方向的外部磁场来提高信号灵敏度。

[0005] 本公开的另一方面是提供一种磁装置,所述磁装置增大沿具有惠斯通电桥结构的磁传感器中的难磁化方向的外部磁场的传感范围。

[0006] 技术解决方案

[0007] 根据本公开的一方面,一种磁装置包含:钉扎层,具有平面内磁化方向;自由层,具有平面内磁化方向,与钉扎层竖直间隔开以与钉扎层对准;导电间隔物层,安置在钉扎层与自由层之间;反铁磁层,安置以钉扎钉扎层的磁化方向且与钉扎层竖直间隔开以与钉扎层对准;以及贵金属间隔物层,安置在钉扎层与反铁磁层之间。

[0008] 在实例实施例中,贵金属间隔物层可为铜或铂的单层薄膜,或铜和铂的多层薄膜,且可具有0.1纳米 (nm) 到0.8纳米的厚度。

[0009] 在实例实施例中,自由层可具有形状磁各向异性,且磁装置可与惠斯通电桥结构连接。

[0010] 在实例实施例中,导电间隔物层可包含铜且可具有2.2纳米的厚度。

[0011] 在实例实施例中,贵金属间隔物层可包含 Pt_2Cu_1 、 Cu_2Pt_1 或 Cu_3Pt_2 ,其中每一下标指示埃单位的厚度。

[0012] 在实例实施例中,钉扎层可包含CoFe,且自由层可包含NiFe的第一铁磁层和CoFe的第二铁磁层。

[0013] 根据本公开的一方面,一种磁装置包含:钉扎层,具有平面内磁化方向;自由层,具有平面内磁化方向,与钉扎层竖直间隔开以与钉扎层对准;穿隧绝缘层,安置在钉扎层与自由层之间;反铁磁层,安置以钉扎钉扎层的磁化方向且与钉扎层竖直间隔开以与钉扎层对准;以及贵金属间隔物层,安置在钉扎层与反铁磁层之间。

[0014] 在实例实施例中,贵金属间隔物层可为铜或铂的单层薄膜,或铜和铂的多层薄膜,且可具有0.1纳米(nm)到0.8纳米的厚度。

[0015] 在实例实施例中,自由层可具有形状磁各向异性,且磁装置可与惠斯通电桥结构连接。

[0016] 在实例实施例中,穿隧绝缘层可包含MgO、AlO_x或GdO_x。

[0017] 在实例实施例中,贵金属间隔物层可包含Pt₂Cu₁、Cu₂Pt₁或Cu₃Pt₂,其中每一下标指示埃单位的厚度。

[0018] 在实例实施例中,钉扎层可包含CoFe,且自由层可包含NiFe的第一铁磁层和CoFe的第二铁磁层。

[0019] 有利效果

[0020] 如上文所描述,在根据实例实施例的磁装置中,贵金属间隔物层可插入在反铁磁层与钉扎层之间以沿磁装置的磁难轴方向调整灵敏度值。

[0021] 在根据实例实施例的磁装置中,贵金属间隔物层可插入在铁磁层与钉扎层之间以增大在磁装置的磁难轴方向上的偏压磁场的传感范围。

[0022] 在根据实例实施例的磁装置中,贵金属间隔物层可插入在铁磁层与钉扎层之间以减小在磁装置的磁易轴方向上的偏压磁场。

[0023] 在根据实例实施例的磁装置中,贵金属间隔物层可插入在反铁磁层与钉扎层之间以增大奈耳畴壁的密度、能够改善由磁畴壁引起的静磁相互作用,且增大磁通量闭合以使得自由层的磁化反转磁场(其中发生磁化反转从反平行状态到平行状态)显著增大。因此,自由层的偏压磁场可减小以改善在磁难轴方向上的灵敏度。

[0024] 在根据实例实施例的磁装置的超薄贵金属间隔层中,贵金属间隔物层可插入在反铁磁层与钉扎层之间,以使得可调整钉扎层的奈耳畴壁的密度以控制自由层的偏压磁场。此外,贵金属间隔物层可在上部边界和下部边界上引起镜面散射以增大磁阻值。

附图说明

[0025] 图1为根据本公开的实例实施例的惠斯通电桥GMR磁传感器的概念图。

[0026] 图2示出取决于沿图1中的第一GMR电阻器中的磁难轴方向的外部磁场的电阻。

[0027] 图3示出图1中的第一GMR电阻器的钉扎层的磁化方向和自由层的形状磁各向异性方向。

[0028] 图4示出取决于沿图1中的第一GMR电阻器中的磁难轴方向的外部方向的自由层的磁化方向。

[0029] 图5示出取决于沿图1中的第二GMR电阻器中的磁难轴方向的外部磁场的电阻。

[0030] 图6示出图1中的第二GMR电阻器的钉扎层的磁化方向和自由层的形状磁各向异性方向。

[0031] 图7示出取决于沿图1中的第二GMR电阻器中的磁难轴方向的外部磁场方向的自由层的磁化方向。

[0032] 图8A到图8D示出取决于沿图1中的从第一GMR电阻器到第四GMR电阻器的磁易轴方向的外部磁场的电阻。

[0033] 图9A到图9D示出取决于沿图1中的从第一GMR电阻器到第四GMR电阻器的磁难轴方

向的外部磁场的电阻。

[0034] 图10A和图10B示出取决于在图1中的惠斯通电桥磁传感器中的磁易轴方向上的外部磁场和外部磁场 H_x 、 H_y 的在第一端子a与第三端子c之间的电压。

[0035] 图11A为根据本公开的实例实施例的GMR元件的平面视图。

[0036] 图11B为根据本公开的实例实施例的GMR元件的横截面视图。

[0037] 图12A到图12D示出取决于沿根据本公开的实例实施例的磁装置中的材料的磁易轴方向的外部磁场和贵金属间隔物层的厚度的磁化特性。

[0038] 图13示出取决于根据本公开的实例实施例的磁装置中是否存在贵金属间隔物层的磁光克尔效应(Magneto-optic Kerr effect; MOKE)显微镜图像和滞后特性。

[0039] 图14A到图14D是表示示出取决于沿根据本公开的实例实施例的磁装置中的磁易轴方向的外部磁场的磁阻比的测试结果的图。

[0040] 图15是在图14A到图14D中的 Cu_3Pt_2 下放大磁阻比的图。

[0041] 图16A到图16D是表示示出取决于沿根据本公开的实例实施例的磁装置中的磁难轴方向的外部磁场的磁阻比的测试结果的图。

[0042] 图17是示出根据本公开的实例实施例的磁装置中的自由层的灵敏度 S 与偏压磁场 H_{bias} 之间的相关性的图。

[0043] 图18是根据本公开的另一实例实施例的磁装置的横截面视图。

具体实施方式

[0044] 巨磁阻(Giant Magnetoresistance)磁传感器具有改善信噪比和热稳定性的特性。当自旋阀结构的薄膜以惠斯通推挽式电桥(Wheatstone push-pull bridge)图案的形式提供时,单极信号(unipolar signal)转换成双极信号(bipolar signal)。基于这个事实,将GMR磁传感器用作磁传感器。当在自由层的磁难轴(magnetic hard axis)方向上施加磁场时,还观察到非滞后曲线(non-hysteresis curve)。使用这个事实可允许确保传感器的线性特性。在磁难轴方向上的低磁场区中出现的斜率或灵敏度值(Sensitivity Value)是影响GMR传感器的灵敏度特性的非常重要的因素。在磁难轴方向上的低磁场区中出现的灵敏度值(Sensitivity Value)需要增大。此外,当磁易轴信号由在磁易轴方向上的磁场产生时,由在磁难轴方向上的磁场产生的磁难轴信号与将失真的磁易轴信号重叠。因此,存在对将由在磁易轴方向上的磁场产生的磁易轴信号遏制在待测量的传感范围内的方法的需要。

[0045] 在穿隧磁阻磁传感器中,当以相同方式由在磁易轴方向上的磁场产生磁易轴信号时,由在磁难轴方向上的磁场产生的磁难轴信号是失真的。

[0046] 根据实例实施例,贵金属间隔物层可插入在磁阻元件的钉扎层与反铁磁层之间以将由在磁易轴方向上的磁场产生的磁易轴信号抑制在磁场范围内。

[0047] 现将参看附图更完整地描述本公开的实施例。然而,本公开可以不同形式实施,并且不应被解释为限于本文所阐述的实施例。确切地说,提供这些实施例是为了使得本公开将是透彻并且完整的,并且这些实施例将把本发明的范围完整地传达给本领域的技术人员。

[0048] 图1为根据本公开的实例实施例的惠斯通电桥GMR磁传感器的概念图。

- [0049] 图2示出取决于在图1中的第一GMR电阻器中的磁难轴方向上的外部磁场的电阻。
- [0050] 图3示出图1中的第一GMR电阻器的钉扎层的磁化方向和自由层的形状磁各向异性方向。
- [0051] 图4示出取决于沿图1中的第一GMR电阻器中的磁难轴方向的外部方向的自由层的磁化方向。
- [0052] 图5示出取决于沿图1中的第二GMR电阻器中的磁难轴方向的外部磁场的电阻。
- [0053] 图6示出图1中的第二GMR电阻器的钉扎层的磁化方向和自由层的形状磁各向异性方向。
- [0054] 图7示出取决于沿图1中的第二GMR电阻器中的磁难轴方向的外部磁场方向的自由层的磁化方向。
- [0055] 图8A到图8D示出取决于沿图1中的从第一GMR电阻器到第四GMR电阻器的磁易轴方向的外部磁场的电阻。
- [0056] 图9A到图9D示出取决于沿图1中的从第一GMR电阻器到第四GMR电阻器的磁难轴方向的外部磁场的电阻。
- [0057] 图10A和图10B示出取决于在图1中的惠斯通电桥磁传感器中的磁易轴方向上的外部磁场和外部磁场 H_x 、 H_y 的在第一端子a与第三端子c之间的电压。
- [0058] 参考图1到图7、图8A到图8D、图9A到图9D以及图10A和图10B,惠斯通电桥磁传感器10包含第一GMR电阻器12a到第四GMR电阻器12d。惠斯通电桥磁传感器10包含第一端子到第四端子a、b、c、d,第一端子a与第三端子c之间的电压指示输出电压。第二端子b可连接到外部DC电压,且第四端子d可接地。第一GMR电阻器12a和第四GMR电阻器12d可并排定位以与彼此分隔开。第二GMR电阻器12b和第三GMR电阻器12c可围绕第一GMR电阻器12a旋转,且可并排定位以与彼此间隔开。
- [0059] GMR电阻器12a~12d ($R_1 \sim R_4$) 中的每一个可在长度方向上延伸且在间隔开之后返回,例如可具有曲折形状以具有形状磁各向异性。GMR电阻器的形状磁各向异性方向可为GMR电阻器的延伸方向。钉扎层的磁化方向对所有GMR电阻器来说可为相同的,且可为在延伸方向上以45度角旋转的x轴方向。所有GMR电阻器可具有平面内磁各向异性。
- [0060] 钉扎层的磁化方向可匹配自由层的磁易轴。外部磁场可包含沿磁易轴方向(x轴方向)施加的磁易轴磁场和沿磁难轴方向(y轴方向)施加的磁难轴磁场。
- [0061] 磁装置包含晶种层(Ta (5.0纳米))、自由层(Ta (5.0纳米))、金属间隔物层(Cu (2.2纳米))以及钉扎层($\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$)、反铁磁层($\text{Ir}_{21}\text{Mn}_{79}$ (6.0纳米))以及罩盖层(Ta (5.0纳米))。
- [0062] 参考图2、图3以及图4,当沿磁难轴(y轴)方向将外部磁场 H_y 施加到第一GMR电阻器12a时,在外部磁场 H_y 足够高强度的情况下,自由层可沿外部磁场方向对准。同时,当外部磁场 H_y 为低强度时,自由层可沿形状磁各向异性方向(延伸方向)旋转。另外,当去除外部磁场 H_y 时,自由层可沿形状磁各向异性方向对准。
- [0063] 参考图5、图6以及图7,当在磁难轴(y轴)方向上将外部磁场 H_y 施加到第二GMR电阻器12b时,在外部磁场 H_y 具有足够高强度的情况下,自由层可在外部磁场方向上对准。同时,在外部磁场 H_y 具有低强度的情况下,自由层可在形状磁各向异性方向上旋转。另外,当去除外部磁场 H_y 时,自由层可沿形状磁各向异性方向对准。
- [0064] 参考图8A到图8D,第一GMR电阻器12a的值取决于沿磁易轴(x轴)方向的外部磁场

Hx的强度和符号来指示滞后。在滞后中具有尖锐斜率的外部磁场的强度可为点A和点B。另外,点A与点B之间的中间值可为偏压磁场 H_{bias} 。点A可为约25奥(0e),点B可约10奥,且偏压磁场 H_{bias} 可为约17奥。

[0065] 参考图9A到图9D,第一GMR电阻器12a的值具有取决于沿磁难轴(y轴)方向的外部磁场Hy的强度和符号的单值,且可在外部磁场Hy接近于零时具有最小值。

[0066] 参考图10A和图10B,取决于惠斯通电桥磁传感器10中的磁易轴方向的外部磁场Hx的第一端子a与第三端子c之间的电压Vac指示点A处的负最大值(约25奥)和点B处的正最大值(约10奥)。地球磁场为1奥或小于1奥,且用于测量地球磁场的传感范围可为正奥到负奥。

[0067] 然而,在从正奥到负奥的传感范围内,取决于沿磁易轴方向的外部磁场Hx的第一端子a与第三端子c之间的电压Vac可具有取决于峰值或外部磁场Hx的值。由在磁易轴方向上的外部磁场Hx产生的电压Vac可引起沿将测量的磁难方向的信号失真。

[0068] 因此,在GMR电阻器中,应将点A和点B设计为从传感范围偏离,在点A和点B处,取决于在磁易轴方向上的外部磁场Hx的电阻滞后具有最大斜率。详细地说,偏压磁场 H_{bias} (点A和B的中间值)可具有零值。取决于沿磁易轴方向的外部磁场Hx的第一端子a与第三端子c之间的电压Vac需要在传感范围内具有零值或恒定值。

[0069] 根据实例实施例,提出一种能够调整偏压磁场 H_{bias} 的GMR电阻元件结构。在根据实例实施例的磁阻元件中,点A和点B定位于传感范围(例如,负奥到正奥)的外部。

[0070] 根据实例实施例,沿磁难轴方向的灵敏度值可增大。

[0071] 图11A为根据本公开的实例实施例的GMR元件的平面视图。

[0072] 图11B为根据本公开的实例实施例的GMR元件的横截面视图。

[0073] 参考图11A和图11B,磁装置100可为GMR元件。磁装置100包含:钉扎层152,具有平面内磁化方向;自由层130,具有平面内磁化方向,与钉扎层152竖直间隔开以与钉扎层152对准;导电间隔物层140,安置在钉扎层152与自由层130之间;反铁磁层156,安置以固定钉扎层152的磁化方向,且与钉扎层152竖直间隔开以与钉扎层152对准;以及贵金属间隔物层154,安置在钉扎层152与反铁磁层156之间。贵金属间隔物层154可为铜或铂的单层薄膜,或铜和铂的多层薄膜,且可具有0.1纳米(nm)到0.8纳米的厚度。磁装置100可与惠斯通电桥结构连接以构成磁传感器。

[0074] 磁装置100可具有通过反复延伸正的第一方向,接着在第二方向上延伸,并接着在负的第一方向上延伸来在衬底100上形成的绕组结构。磁装置100的相对端可通过电极102a、102b连接到电极垫。

[0075] 磁装置100的钉扎层152的磁化方向可在第一方向(磁装置100的延伸方向)上旋转45度以安置在平面内。磁装置100的钉扎层152的磁化方向可为磁易轴方向。磁装置100的自由层130的磁易轴可与钉扎层152的磁易轴相同。磁装置100的形状各向异性方向可为第一方向。因此,当未施加外部磁场时,自由层130可沿形状各向异性方向(第一方向)对准。

[0076] 衬底110可为硅衬底或半导体衬底。衬底110可包含绝缘层,例如氧化硅层。更具体来说,衬底110可为通过以水合方式氧化P型硅衬底来获得的衬底。

[0077] 晶种层120安置在衬底110上。晶种层120可为钽(Ta)。晶种层120可具有5.0纳米的厚度。晶种层120可将光滑表面提供到自旋阀结构的巨磁阻(GMR)薄膜。

[0078] 自由层130可安置在晶种层120上。自由层130可包含依次堆叠的第一铁磁层132和

第二铁磁层134。第一铁磁层132可为 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 。第一铁磁层132可具有3.0纳米的厚度。第二铁磁层134可为 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 。第二铁磁层134可具有1.8纳米的厚度。自由层130可相对自由地为施加的磁场提供磁化转换。自由层130可包含Co、Ni、Fe或其合金,并可具有单层或多层结构。更具体来说,自由层130可包含NiFe、CoFe或CoFeB。自由层130可具有平面内磁各向异性,且平面内磁各向异性的大小可取决于自由层130的厚度以及在沉积期间原子累积的晶体结构和平面方向来调整控制。

[0079] 导电间隔物层140可安置在自由层130上。导电间隔物层140可为铜。导电间隔物层140可具有2.0纳米的厚度。导电间隔物层140可通过自旋相关散射来促进GMR效应。

[0080] 导电间隔物层140可转换为穿隧势垒层,具有类似于GMR效应的穿隧磁阻所需的绝缘特性,例如 MgO 、 AlO_x 、 GdO_x ,或类似物。

[0081] 钉扎层152可安置在导电间隔物层140上。钉扎层152可为 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 。钉扎层可具有2.0纳米的厚度。钉扎层152可包含Co、Ni、Fe或其合金,且可具有单层或多层结构。更具体来说,钉扎层152可包含NiFe、CoFe或CoFeB。钉扎层152可具有平面内磁各向异性,且平面内磁各向异性的大小可取决于钉扎层152的厚度以及在沉积期间原子累积的晶体结构和平面方向来调整控制。

[0082] 贵金属间隔物层154可安置在钉扎层152上。

[0083] 贵金属间隔物层154可为Pd、Ag、Au、Ru、Cu或Pt。贵金属间隔物层154可为铜或铂的单层薄膜,或铜和铂的多层薄膜,且可具有0.1纳米到0.8纳米的厚度 t 。当贵金属间隔物层154的厚度大于0.8纳米时,反铁磁层156与钉扎层152之间的相互作用可能减小,且因此,可能不会钉扎钉扎层152的磁化方向。贵金属间隔物层154可增大钉扎层152与反铁磁层156之间的钉扎层152中的奈耳畴壁的密度。贵金属间隔物层154可取决于沿磁易轴方向的外部磁场来减小偏压磁场 H_{bias} 。因此,可减小由沿磁易轴方向的外部磁场引起的惠斯通电桥电路的信号失真。此外,贵金属间隔物层154可取决于沿磁难轴方向的外部磁场来增大磁信号的灵敏度。

[0084] 反铁磁层156可安置在贵金属间隔物层154上。反铁磁层156可为 $\text{Ir}_{21}\text{Mn}_{79}$ 。反铁磁层156可具有6.0纳米的厚度。反铁磁层156可在交换偏压磁场的方向上钉扎钉扎层152的磁化方向。

[0085] 罩盖层160可安置在反铁磁层156上。罩盖层160可为钽(Ta)。罩盖层160可具有5.0纳米的厚度。罩盖层160防止自旋阀结构的GMR薄膜氧化。

[0086] 堆叠在磁装置100上的相应层可通过DC磁控溅射沉积来沉积。在安装有多個溅射靶的室中,真空度为约 7×10^{-8} 托尔。可通过注入氩(Ar)气体来在 2×10^{-3} 托尔的大气中执行沉积。在真空状态中连续沉积所有层。溅射靶可为Ta、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 、Cu、Pt以及 $\text{Ir}_{21}\text{Mn}_{79}$ 。包含氧化铁的永久磁铁安置在其上沉积有薄膜的衬底固持器周围,以在沉积期间诱导自由层130和钉扎层152的磁各向异性。永久磁铁在单一方向上向自由层130或钉扎层152施加80奥的均匀磁场。

[0087] 在罩盖层160的沉积完成之后,将衬底110传送到新的室。新的室具有 1×10^{-6} 托尔的真空度,且在与形成磁各向异性的方向相同的方向上在2千奥的均匀磁场下在250℃的温度下执行后退火工艺10分钟。因此,后退火工艺可产生钉扎层152的交换偏压磁场,且可使在沉积工艺期间在薄膜之间产生的应力稳定。

[0088] 可通过在自由层130和钉扎层152的沉积期间施加的磁场的大小以及在后退火工艺期间施加的磁场的温度和磁来调整特性,例如钉扎层152的交换偏压磁场和磁各向异性和自由层的偏压磁场和磁各向异性。

[0089] 使用振动样本磁力计来测量GMR薄膜的磁特性。此外,使用四探针方法来测量磁阻特性。使用磁光学克尔效应(MOKE)显微镜来观察自由层130和钉扎层152中的磁畴壁行为。

[0090] 通过调整自由层130、反铁磁层156以及贵金属间隔物层154的厚度、沉积期间的界面粗糙度、原子累积的晶体结构和平面方向,以及奈耳畴壁的宽度和密度以及类似物,可控制由畴壁引起的静磁相互作用以调整自由层130的偏压磁场 H_{bias} 的大小。

[0091] 插入在反铁磁层156与钉扎层152之间的贵金属间隔物层154的厚度和材料可控制反铁磁层156的奈耳畴壁的宽度和密度。贵金属间隔物层154可控制由磁畴壁引起的静磁相互作用,并控制自由层130的偏压磁场 H_{bias} 的大小。

[0092] 根据修改的实施例,贵金属间隔物层154可类似地施加于使用穿隧势垒层的穿隧磁阻效应。

[0093] 预期沿磁难轴方向的灵敏度值(Sensitivity Value)将在自旋阀结构中受到各种参数的影响,所述参数例如(1)钉扎层152的磁各向异性(magnetic anisotropy)的值或交换偏压磁场(exchange bias magnetic field), (2)自由层130的磁各向异性的值或层间交换耦合场(interlayer exchange coupling field),以及类似物。沿磁难轴方向的灵敏度值可大部分受自由层130的层间交换耦合场的值的影响。

[0094] 在根据实例实施例的自旋阀结构中,自由层130的层间交换耦合场的值可取决于茹德曼-基特尔-粕谷-芳田(Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida;RKKY)型交换耦合(exchange coupling)、奈耳橙皮耦合(Neel orange peel coupling)或钉扎层152的杂散场(Stray field)的影响。层间交换耦合场指示在沿自由层130的磁易轴(magnetic easy axis)方向施加外部磁场时出现的磁滞后曲线偏离原点的程度。层间交换耦合场可表达为自由层130的偏压磁场 H_{bias} 。

[0095] 根据实例实施例,预期对自旋阀结构中的自由层130的层间交换耦合具有最大影响的层为插入在自由层130与钉扎层152之间的金属间隔物层140。

[0096] 金属间隔物层140由铜(Cu)形成。当金属间隔物层140的厚度达到约2.2纳米时,未出现由强铁磁耦合引起的针孔耦合(Pinhole coupling)。此外,金属间隔物层140具有根据茹德曼-基特尔-粕谷-芳田(RKKY)型交换耦合出现第二高的反铁磁耦合的厚度,以便消除自由层的偏压磁场的铁磁耦合以减小所述偏压磁场的值。然而,金属间隔物层140的层间交换耦合常数的值较小,且当金属间隔物层140具有2.2纳米的厚度时,反铁磁耦合的影响明显低于由奈耳橙皮耦合引起的铁磁耦合的影响。因此,自由层130的偏压磁场偏离原点许多且具有有利于铁磁耦合的值。

[0097] 作为作用于自由层130的偏压磁场的外部的非本征分量(extrinsic component),存在由畴壁引起的静磁相互作用效应的效应。由于自由层130和钉扎层152中存在的奈耳畴壁之间的相互作用,静磁相互作用形成磁通量闭合(flux-closure)。静磁相互作用在自由层130的磁化反转工艺中用作固定物(fixture)以干扰磁化反转工艺。静磁相互作用的强度可通过自由层130和钉扎层152中存在的奈耳畴壁的大小、其相互的相对大小、磁畴壁的量或密度以及类似物来调整。

[0098] 如果减小自由层130的偏压磁场的大小,那么可改善沿磁硬方向的灵敏度特性,且在使用GMR传感器时可抑制由磁易轴引起的噪声。

[0099] 自由层130的偏压磁场 H_{bias} 可使用畴壁诱导静磁相互作用(Domain wall induced magnetostatic interaction)效应来调整。这一效应可通过调整自旋阀结构上的自由层130或钉扎层152的类型和厚度、金属间隔物层140的厚度、贵金属间隔物层154的类型和厚度以及类似物来控制。

[0100] 在常规上影响自由层130的偏压磁场 H_{bias} 的三个因素(例如RKKY型交换耦合、奈耳橙皮耦合以及钉扎层的杂散磁场)在减小自由层130的偏压磁场 H_{bias} 上受限。然而,使用由畴壁产生的静磁相互作用可使自由层130的偏压磁场 H_{bias} 更有效地减小。

[0101] 自由层130的偏压磁场 H_{bias} 可通过调整自由层130的磁化反转磁场的大小来控制,所述磁化反转磁场的大小确定自由层130的偏压磁场 H_{bias} 和矫顽力。自由层130的磁化反转可分成两种情况。第一,发生自由层130的磁化反转以使自由层130和钉扎层152的状态从反平行状态改变为平行状态。第二,发生自由层130的磁化反转以使自由层130和钉扎层152的状态从平行状态改变为反平行状态。

[0102] 当使用由畴壁产生的静磁相互作用时,其中发生磁化反转从平行状态到反平行状态的磁场的大小几乎不变,而其中发生磁化反转从反平行状态到平行状态的磁场的大小可能改变。因此,当在自由层的磁化反转期间由反平行状态到平行状态产生的磁场的大小增大时,自由层的偏压磁场的大小可能减小。

[0103] 图12A到图12D示出取决于沿根据本公开的实例实施例的磁装置中的材料的磁易轴方向的外部磁场和贵金属间隔物层的厚度的磁化特性。

[0104] 参考图12A,自旋阀结构的GMR磁装置包含Ta(5.0纳米)/ $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (3.0纳米)/ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (1.8纳米)/Cu(2.2纳米)/ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (2.0纳米)/贵金属间隔物层/ $\text{Ir}_{21}\text{Mn}_{79}$ (6.0纳米)/Ta(5.0纳米)。贵金属间隔物层154可为铜(Cu)或铂(Pt)。下标指示埃单位的厚度。x轴表示奥单位的磁场,且y轴表示标准化为饱和磁化的磁化。在自由层的磁易轴方向上施加外部磁场。GMR磁装置呈现滞后特性。

[0105] w/o是其中未插入贵金属间隔物层的样本。 Pt_1Cu_0 表示贵金属间隔物层154,Pt以1埃来表示,且Cu不以0埃来表示。滞后特性在磁易轴方向上的外部磁场为零(0)的位置附近呈现。

[0106] 当惠斯通电桥传感器构成时,有必要抑制由磁易轴方向的外部磁场 H_x 引起的信号。为抑制由磁易轴方向上的外部磁场 H_x 引起的信号,需要将滞后斜率最大的点A、B安置在传感区的外部。偏压磁场 H_{bias} 需要接近于零,所述偏压磁场为滞后斜率最大的点A、B之间的中点。

[0107] 参考图12B, Pt_1Cu_1 的样本比其中未插入贵金属间隔物层154的样本w/o具有更宽的传感区。偏压磁场 H_{bias} 具有最小值,所述偏压磁场为滞后斜率最大的点A与点B之间的中点。

[0108] 继续参考图12B, Pt_2Cu_1 的样本比其中未插入贵金属间隔物层154的样本w/o具有更宽的传感区。偏压磁场 H_{bias} 具有最小值,所述偏压磁场为滞后斜率最大的点A、B之间的中点。

[0109] 参考图12C, Cu_2Pt_1 的样本比其中未插入贵金属间隔物层154的样本w/o具有更宽的传感区。偏压磁场 H_{bias} 具有最小值,所述偏压磁场为滞后斜率最大的点A、B之间的中点。

[0110] 参考图12D, Cu_3Pt_2 的样本比其中未插入贵金属间隔物层154的样本w/o具有更宽的传感区。偏压磁场 H_{bias} 具有最小值, 所述偏压磁场为滞后斜率最大的点A、B之间的中点。

[0111] 当贵金属间隔物层154插入在反铁磁层156与钉扎层152之间时, 自由层磁化反转磁场的大小从反平行状态调整到平行状态。因此, 自由层130的偏压磁场 H_{bias} 可减小。特定来说, 在使用双层时可比使用单层获得更大的效果。

[0112] 图13示出取决于根据本公开的实例实施例的磁装置中是否存在贵金属间隔物层的磁光克尔效应(MOKE)显微镜图像和滞后特性。

[0113] 参考图13, 在几奥到几十奥范围内观察到具有自旋阀结构的巨磁阻薄膜的在从反平行状态到平行状态的自由层130的磁化反转工艺期间的畴壁的行为, 并显示所述行为的MOKE显微镜。右图中简要示出过程。在图13中, (a) 到 (d) 是其中未插入贵金属间隔物层154的样本, (e) 到 (h) 是其中插入呈双层形式的贵金属间隔物层154的样本, 所述双层包含具有2埃厚度的Pt层和具有1埃厚度的Cu层, 且 (i) 到 (l) 是其中插入呈双层形式的贵金属间隔物层154的样本, 所述双层包含具有3埃厚度的Cu层和具有2埃厚度的Pt层。钉扎层152由反铁磁层156在交换偏压磁场的方向上紧密钉扎。因此, 自由层130的密度高于反铁磁层156的密度, 因为自由层130呈现单磁畴行为。

[0114] 参考 (a) 到 (d), 当贵金属间隔物层154未插入时, 在反铁磁层156中无异物。因此, 由于奈耳磁壁的密度不高, 所以在磁化反转工艺中固定磁畴壁的迁移的磁通量闭合较小。因此, 磁畴的大小通常较大, 且磁畴壁平滑地迁移。

[0115] 参考 (e) 到 (h) 以及 (i) 到 (l), 当插入贵金属间隔物层154时, 贵金属间隔物层154的贵金属原子在反铁磁层156中充当异物。因此, 贵金属间隔物层154增大奈耳畴壁的密度, 且反铁磁层156中的增大的奈耳畴壁因自由层130中的奈耳畴壁和由畴壁引起的静磁相互作用而形成磁通量闭合。因此, 贵金属间隔物层154在从反平行状态到平行状态的自由层磁化反转工艺中充当钉扎位置。因此, 由于自由层130的从反平行状态到平行状态的磁化反转磁场的大小增大, 所以偏压磁场 H_{bias} 减小。

[0116] 图14A到图14D是表示出取决于沿根据本公开的实例实施例的磁装置中的磁易轴方向的外部磁场的磁阻比的测试结果的图。

[0117] 图15是在图14A到图14D中的 Cu_3Pt_2 下放大磁阻比的图。

[0118] 参考图14A到图14D以及图15, 示出取决于贵金属间隔物层154是否存在的磁阻比。沿自由层130的磁易轴方向施加外部磁场 H_x 。当插入贵金属间隔物层154时, 通过由奈耳磁壁引起的静磁相互作用效应来增大从反平行状态到平行状态的自由层磁化反转磁场的大小。因此, 自由层的所得偏压磁场 H_{bias} 减小。此外, 当插入贵金属间隔物层154时, 通过在贵金属间隔物层154的上部边界和下部边界上的电子的电子镜面散射 (electronic specular scattering) 来增大巨磁阻比的大小。

[0119] 当贵金属间隔物层154的结构为 Cu_3Pt_2 的情况时, 磁阻比呈现滞后特性。磁阻比快速增大的区安置在以0奥为中心的传感区 (-6奥到+6奥) 的外部, 且偏压磁场 H_{bias} 为0.5奥, 接近于0。因此, 在惠斯通电桥结构中, 可抑制由沿磁易轴方向的外部磁场 H_x 产生的信号。在惠斯通电桥结构中, 只可测量由沿磁难轴方向的外部磁场 H_y 产生的信号。

[0120] 图16A到图16D是表示出取决于沿根据本公开的实例实施例的磁装置中的磁难轴方向的外部磁场的磁阻比的测试结果的图。

[0121] 参考图16A到图16D,示出取决于贵金属间隔物层154是否存在的磁阻比。在自由层130的磁难轴方向上施加外部磁场 H_y 。在从0奥到10奥的外部磁场范围内,磁阻比的斜率对灵敏度 S 具有直接影响。自由层130的偏压磁场 H_{bias} 的大小越大,磁阻比的斜率越高。通过由磁畴壁产生的静磁相互作用效应来增大从反平行状态到平行状态的自由层磁化反转磁场。因此,即使增大自由层130的矫顽力,GMR元件的灵敏度也在自由层130的偏压磁场 H_{bias} 减小时增大。

[0122] 图17是示出根据本公开的实例实施例的磁装置中的自由层的灵敏度 S 与偏压磁场 H_{bias} 之间的相关性的图。

[0123] 参考图17,自由层130的灵敏度 S 和偏压磁场 H_{bias} 彼此具有较强的负相关性。当未插入贵金属间隔物层154时,偏压磁场 H_{bias} 为5.3奥且灵敏度 S 为6.01毫伏/毫安·奥。当插入 $[Pt_2/Cu_1]$ 双层作为贵金属间隔物层154时,偏压磁场 H_{bias} 为0.25奥且灵敏度 S 为8.02毫伏/毫安·奥。当插入 $[Cu_3/Pt_2]$ 双层作为贵金属间隔物层154时,偏压磁场 H_{bias} 为0.5奥且灵敏度 S 为12.01毫伏/毫安·奥。

[0124] 图18是根据本公开的另一实例实施例的磁装置的横截面视图。

[0125] 参考图18,磁装置200包含:钉扎层152,具有平面内磁化方向;自由层130,具有平面内磁化方向,与钉扎层152竖直间隔开以与钉扎层152对准;穿隧绝缘层240,安置在钉扎层152与自由层130之间;反铁磁层156,安置以钉扎钉扎层152的磁化方向且与钉扎层152竖直间隔开以与钉扎层152对准;以及贵金属间隔物层154,安置在钉扎层152与反铁磁层156之间。贵金属间隔物层154可为铜或铂的单层薄膜,或铜和铂的多层薄膜,且可具有0.1纳米到0.8纳米的厚度。自由层130具有形状磁各向异性,且磁装置200可与惠斯通电桥结构连接。

[0126] 在使用穿隧磁阻效应的磁装置200中,使用巨磁阻效应的磁装置100的金属间隔物层140可替换为穿隧绝缘层240。电极202a、202b可安置在磁装置200的顶部表面和底部表面上。在磁装置200中,由于类似于巨磁阻元件的效应的效应,所以插入贵金属间隔物层154以减小磁易轴中的偏压磁场 H_{bias} 。

[0127] 穿隧绝缘层240可为 MgO 、 AlO_x 或 GdO_x 。穿隧绝缘层240可具有几纳米(nm)的厚度。

[0128] 贵金属间隔物层154是 Pt_2Cu_1 、 Cu_2Pt_1 或 Cu_3Pt_2 ,且下标指示埃单位的厚度。

[0129] 钉扎层152可为 $CoFe$,且自由层130可包含 $NiFe$ 的第一铁磁层132和 $CoFe$ 的第二铁磁层134。

[0130] 虽然已详细地描述了本公开及其优势,但是应理解,可在不脱离如所附权利要求所界定的本公开的精神和范围的情况下做出各种改变、替代以及更改。

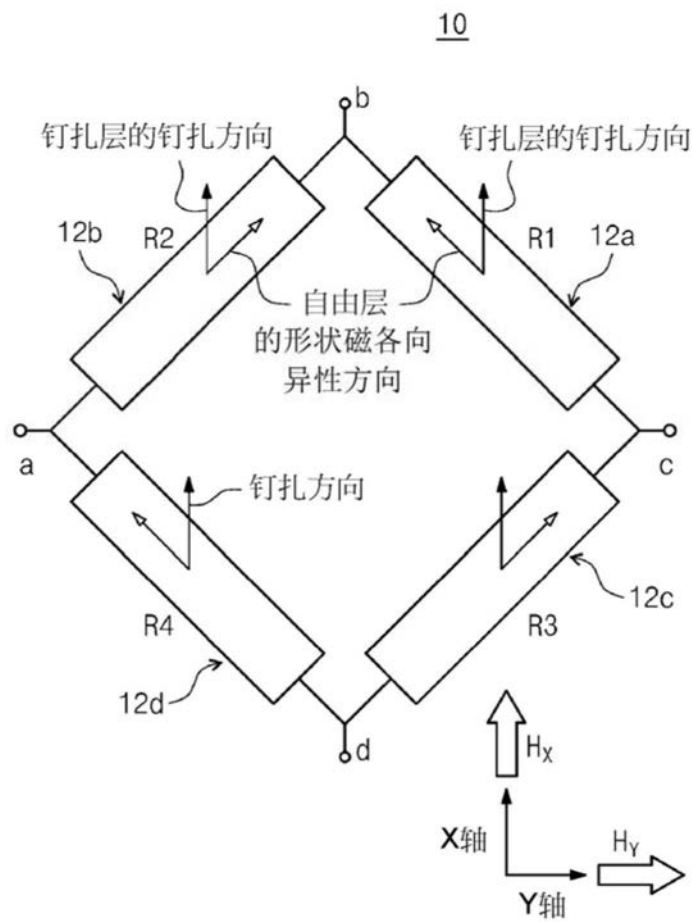


图1

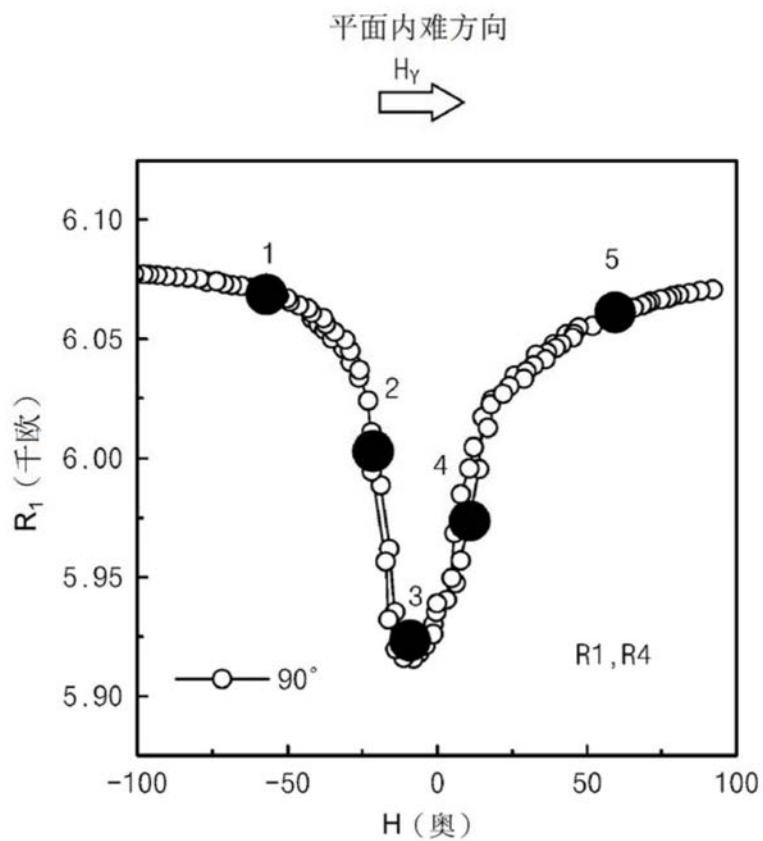


图2

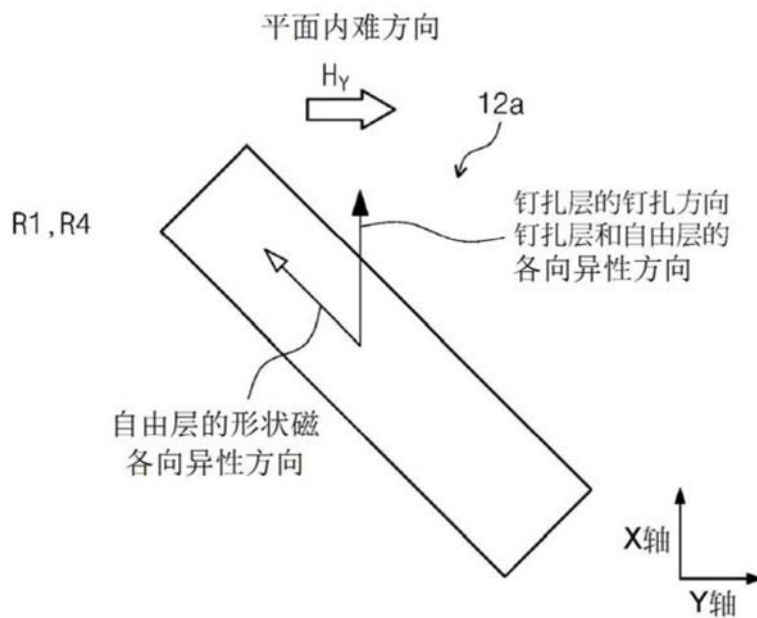


图3

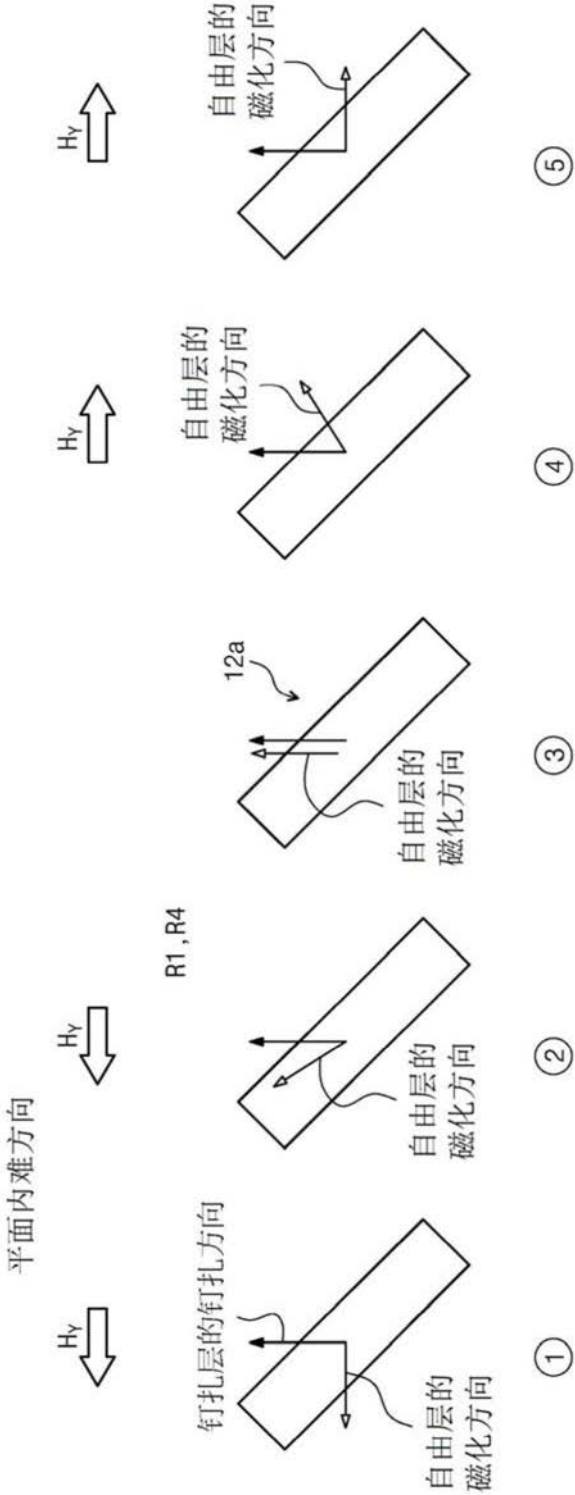


图4

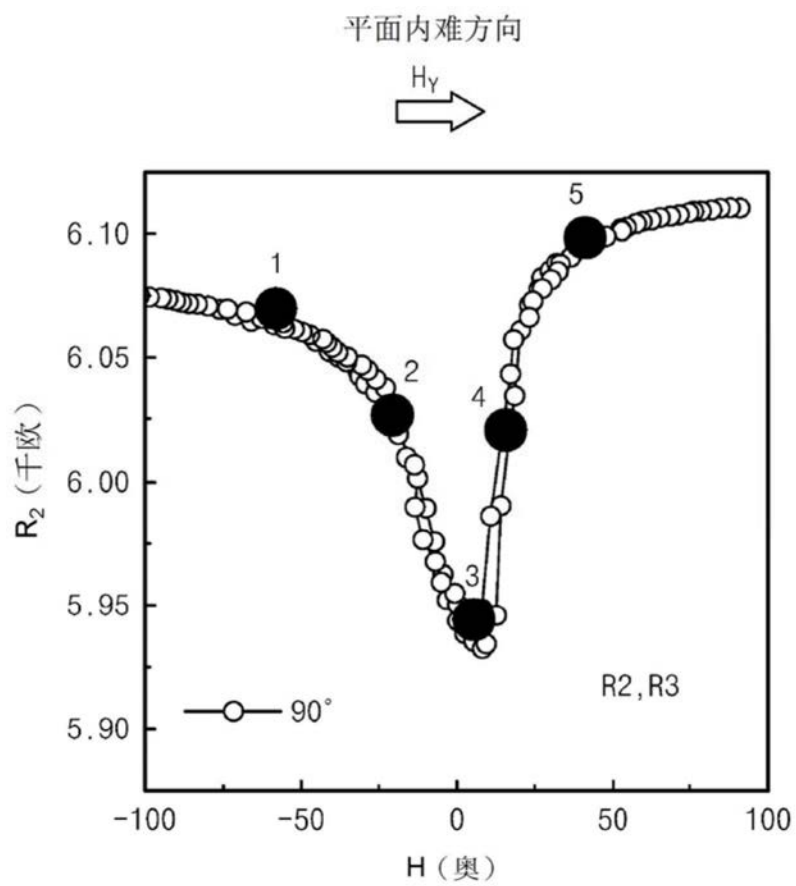


图5

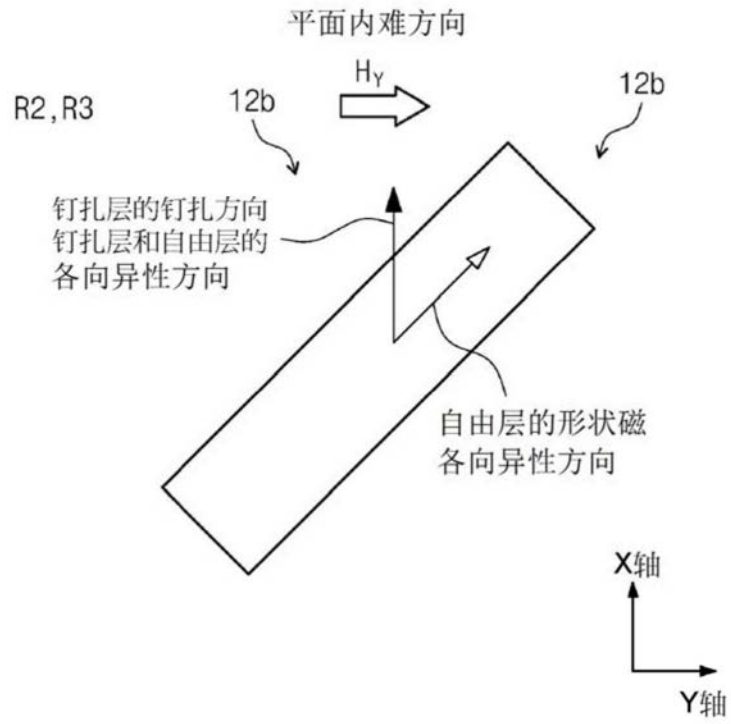


图6

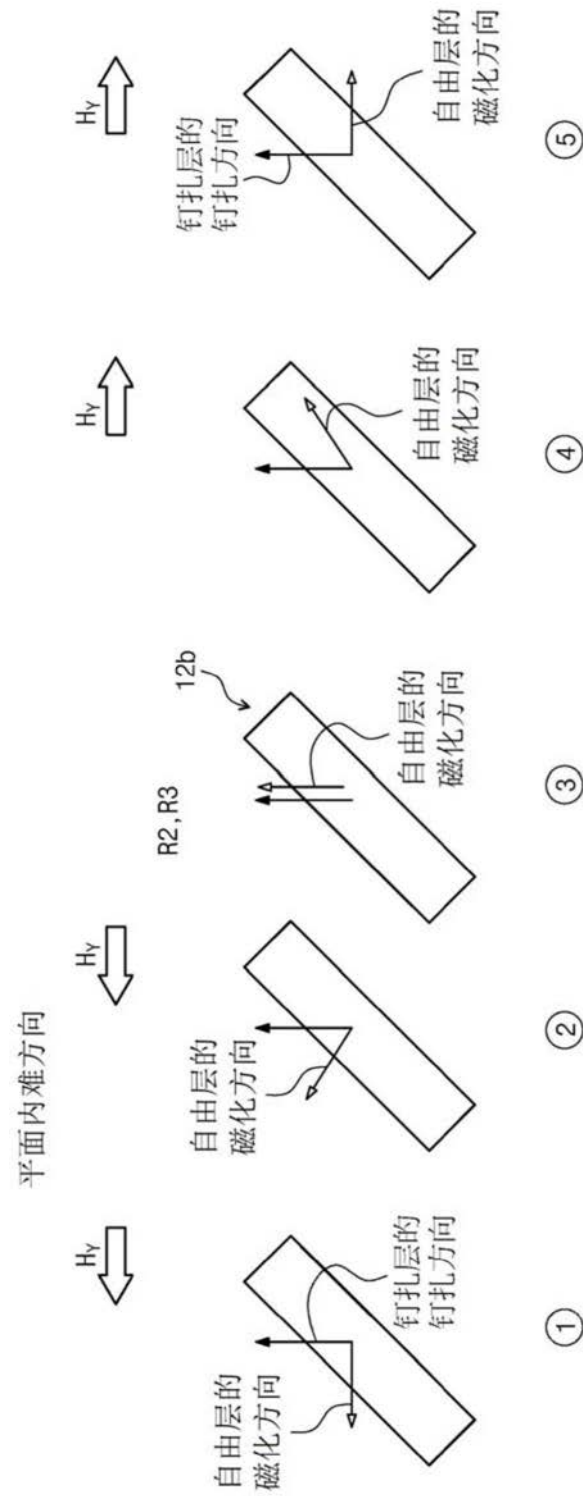


图7

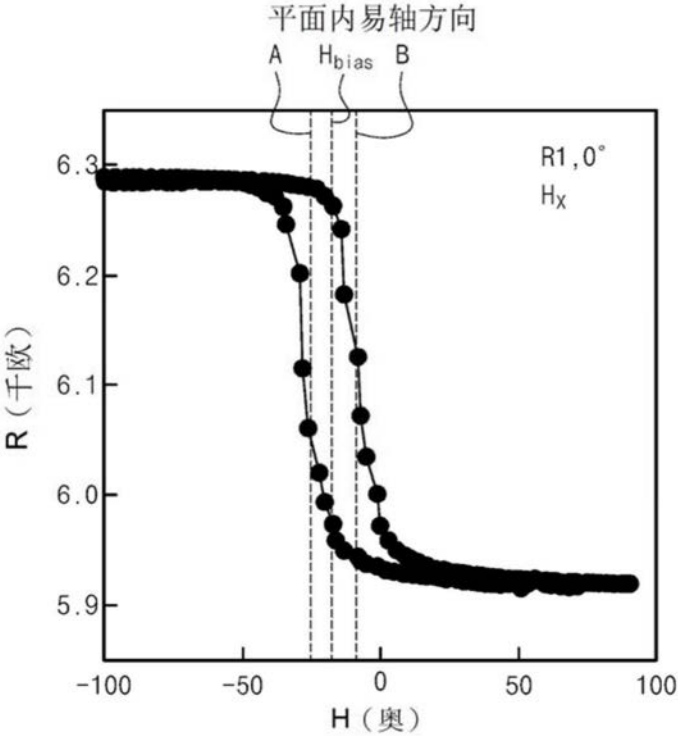


图8A

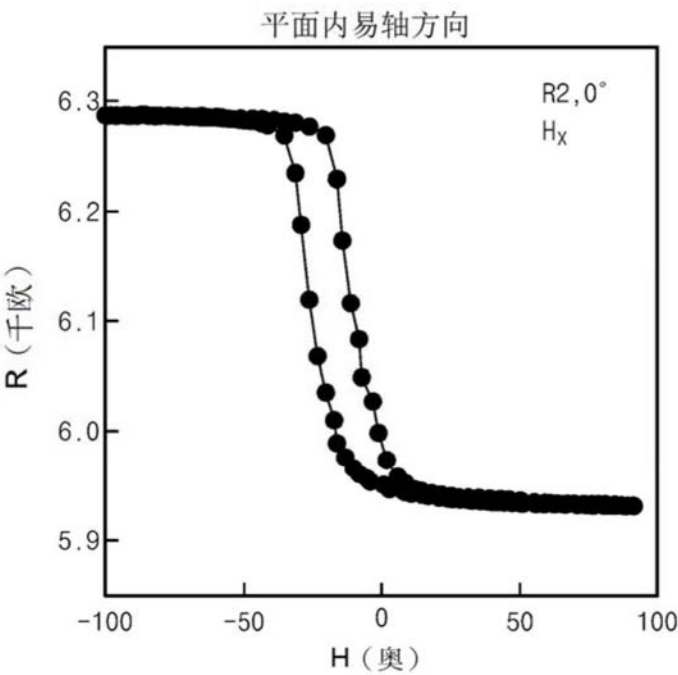


图8B

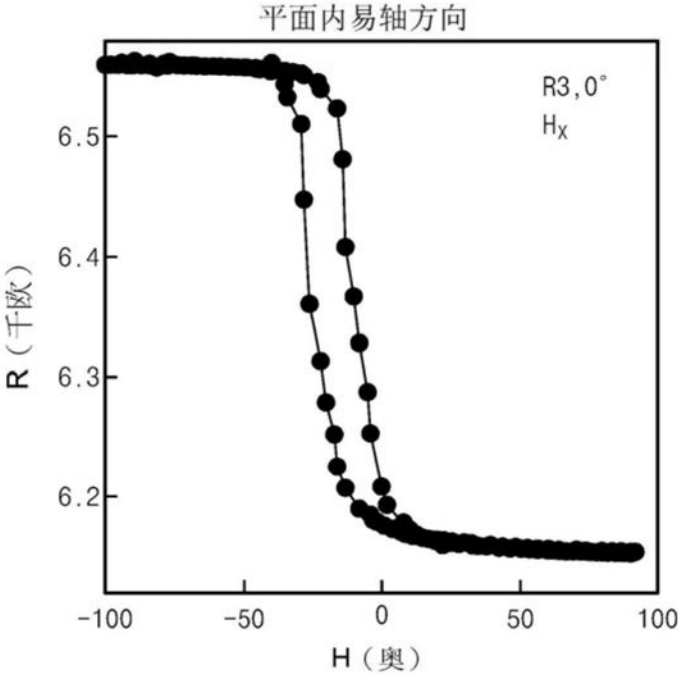


图8C

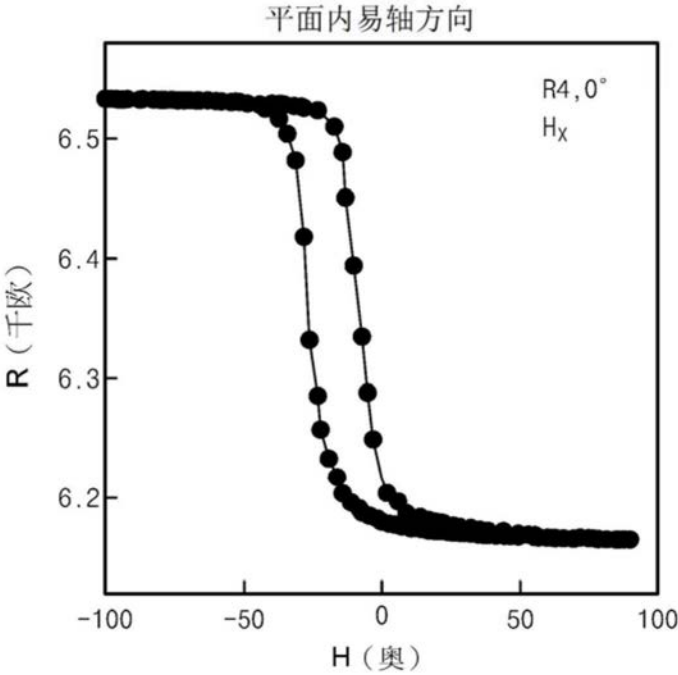


图8D

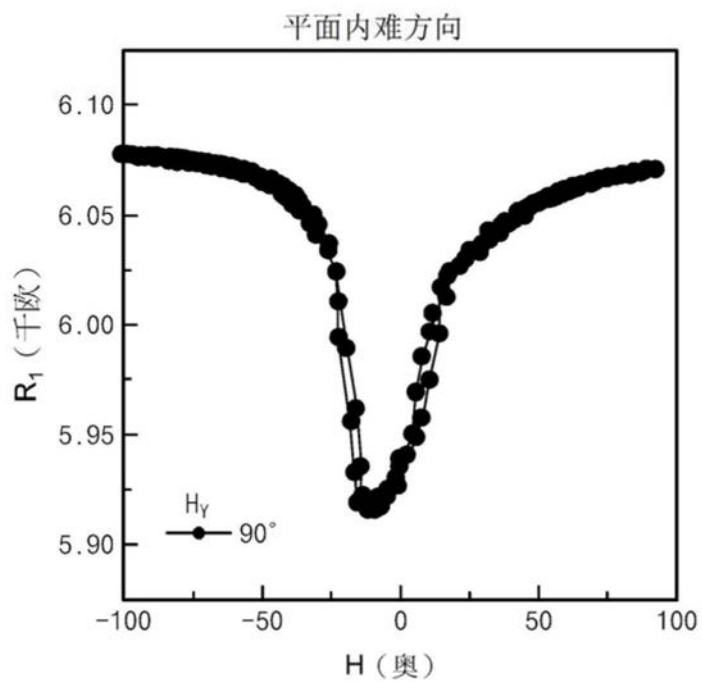


图9A

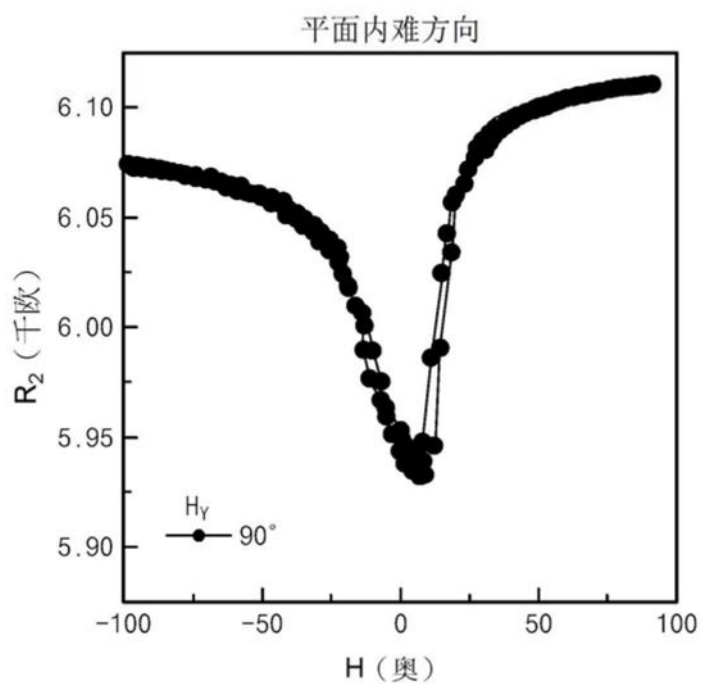


图9B

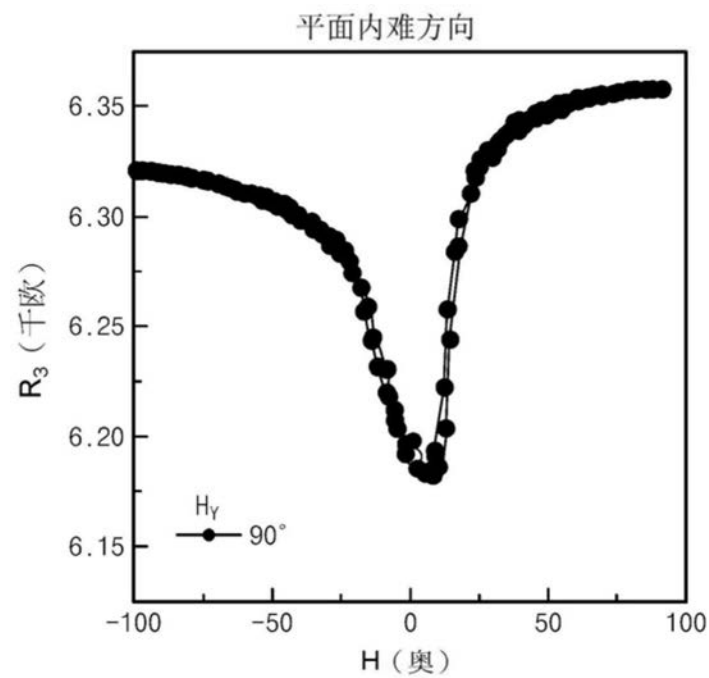


图9C

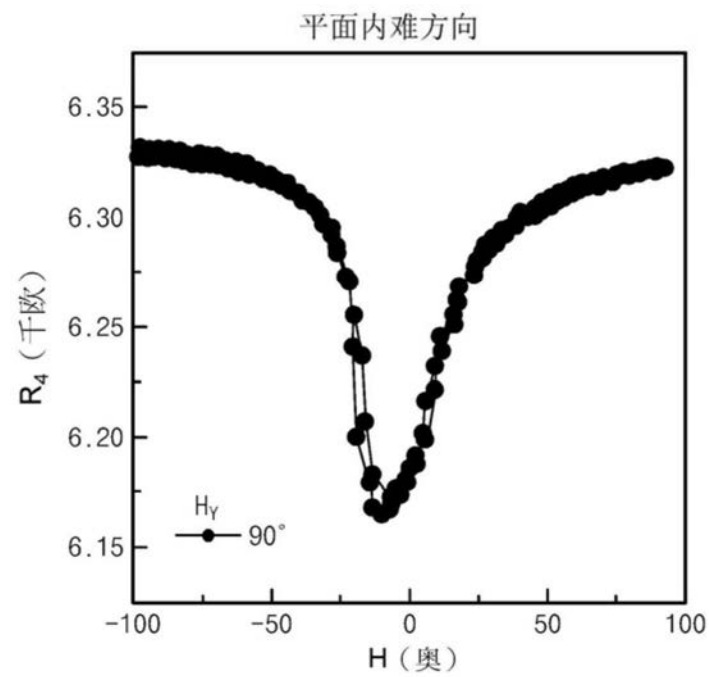


图9D

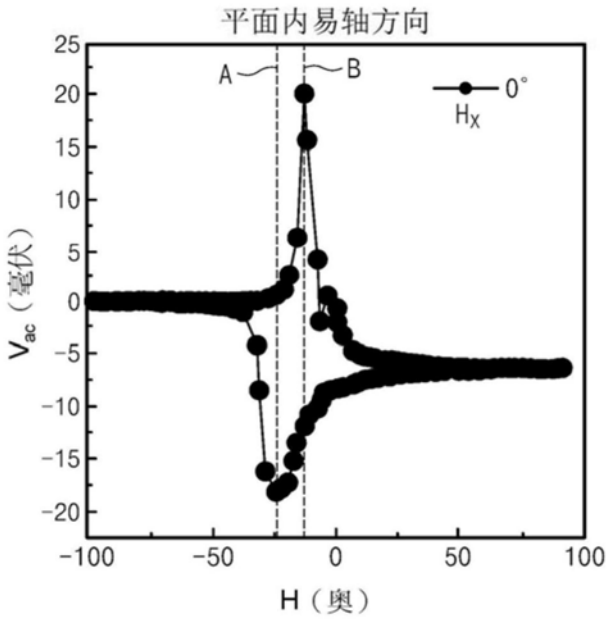


图10A

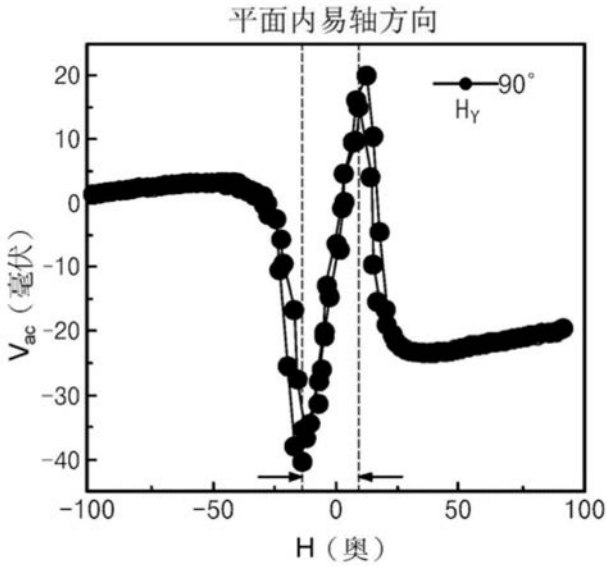


图10B

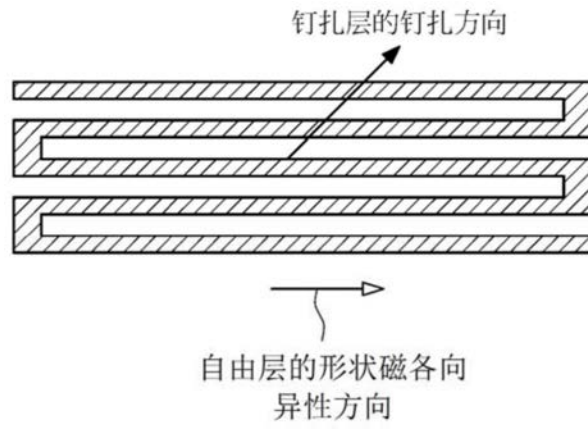


图11A

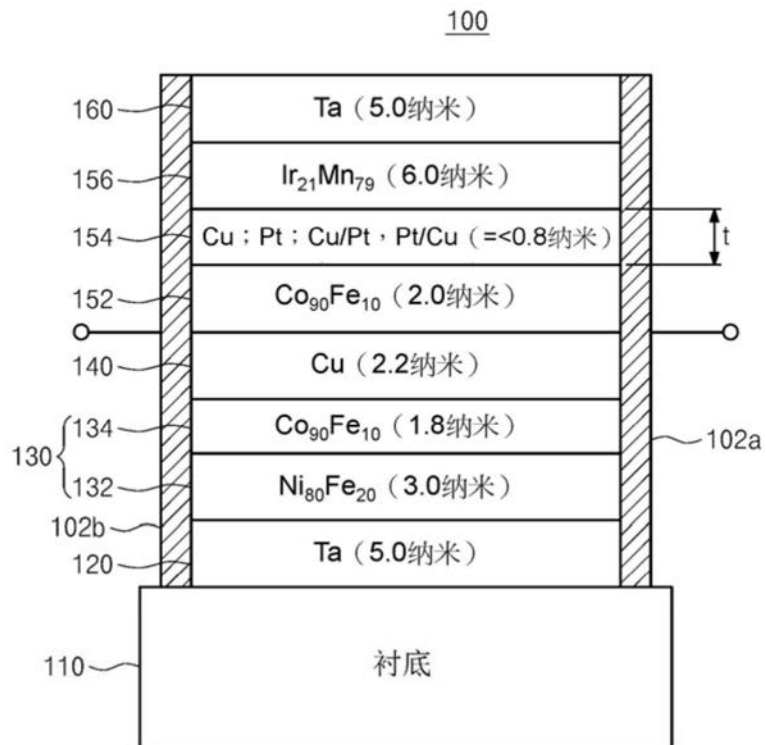


图11B

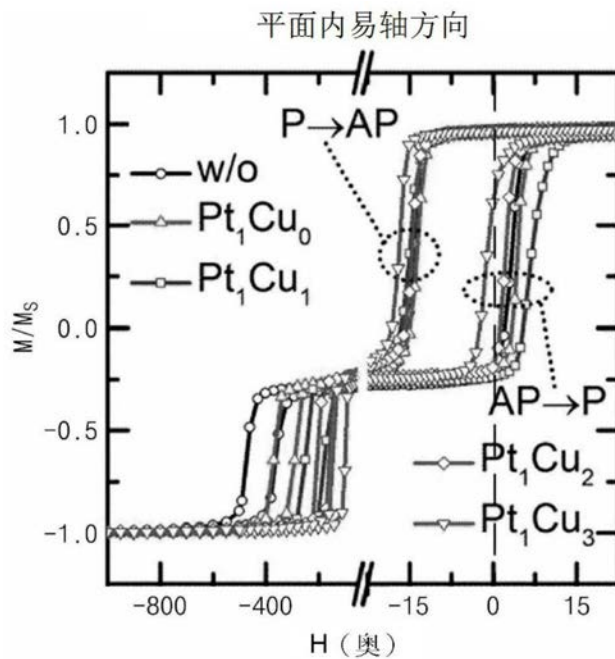


图12A

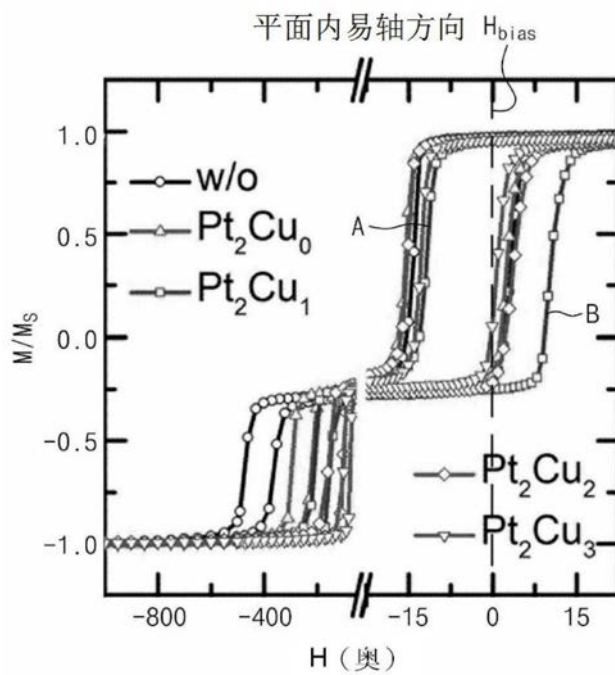


图12B

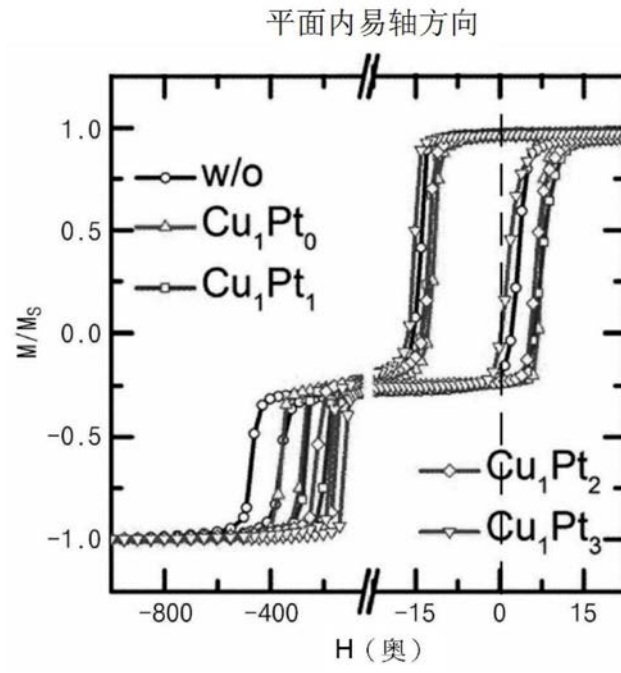


图12C

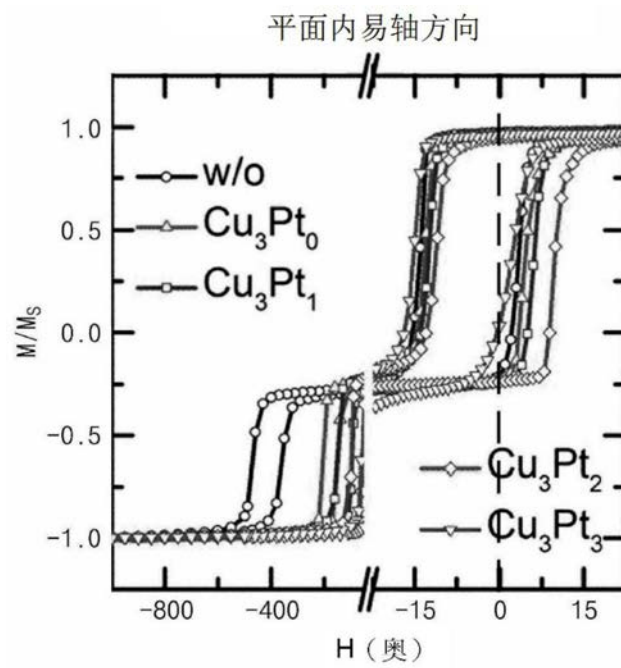


图12D

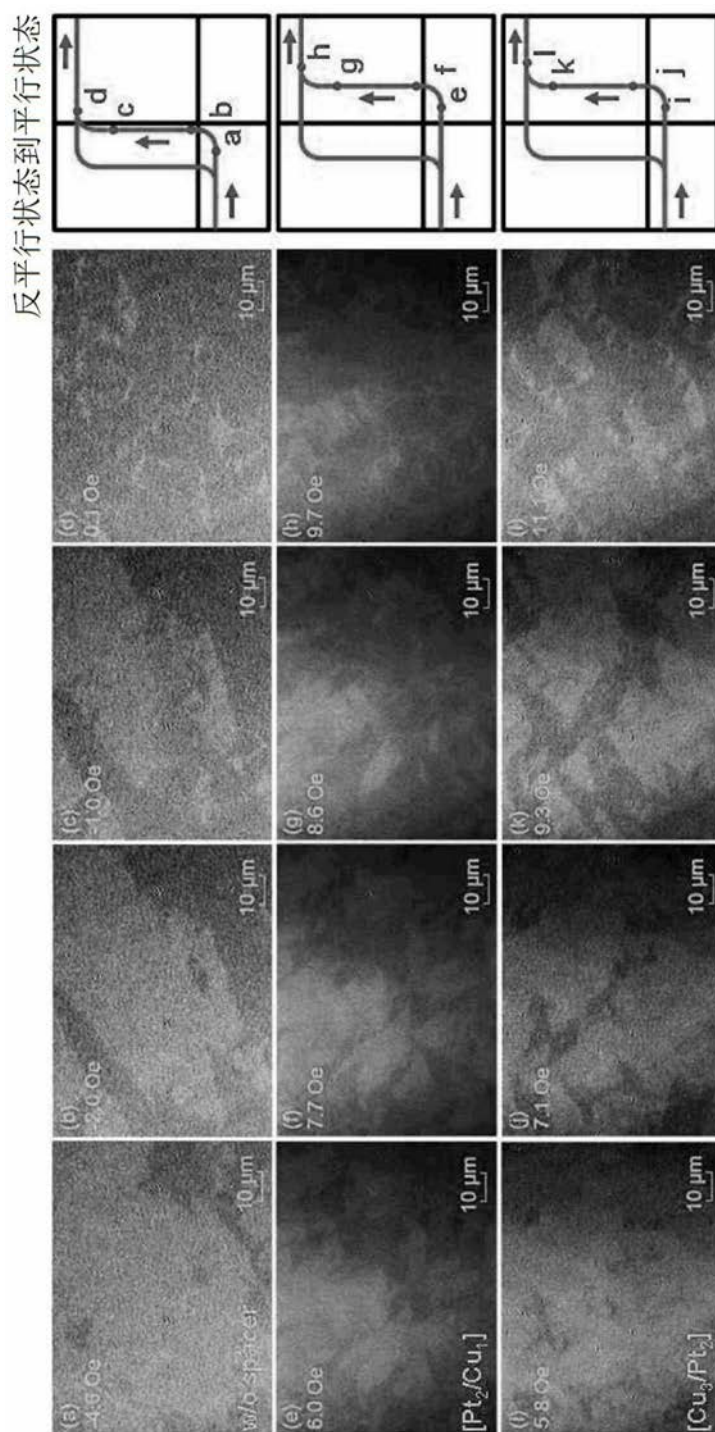


图13

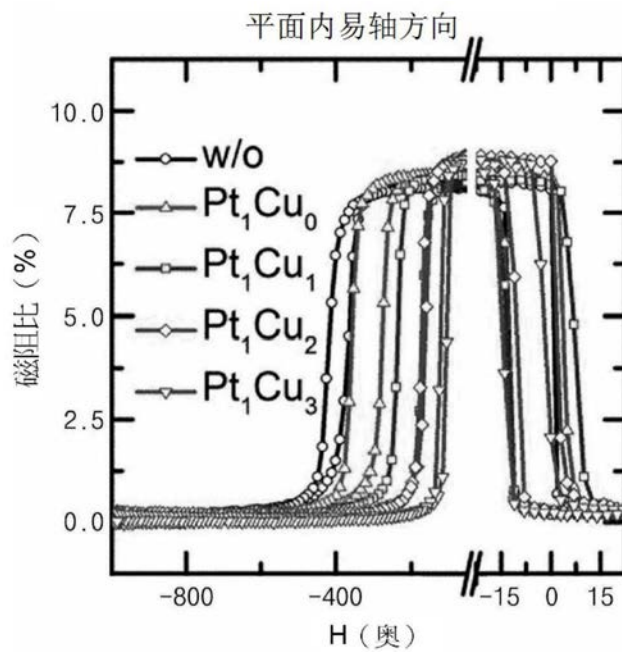


图14A

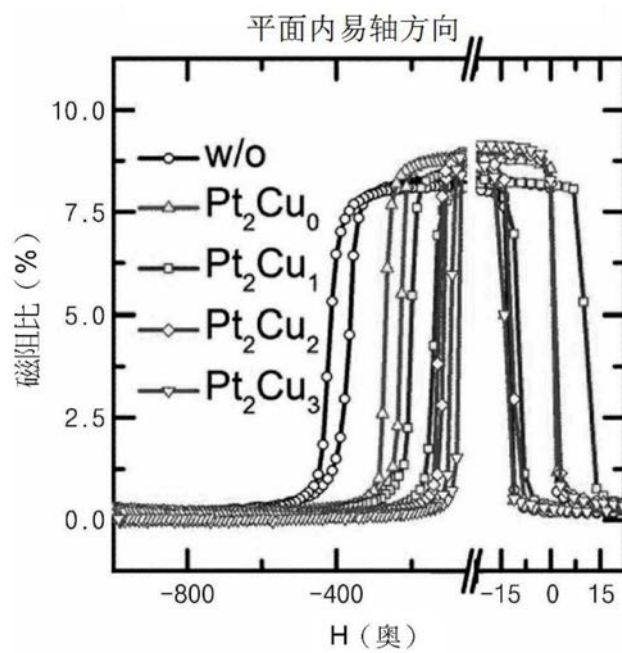


图14B

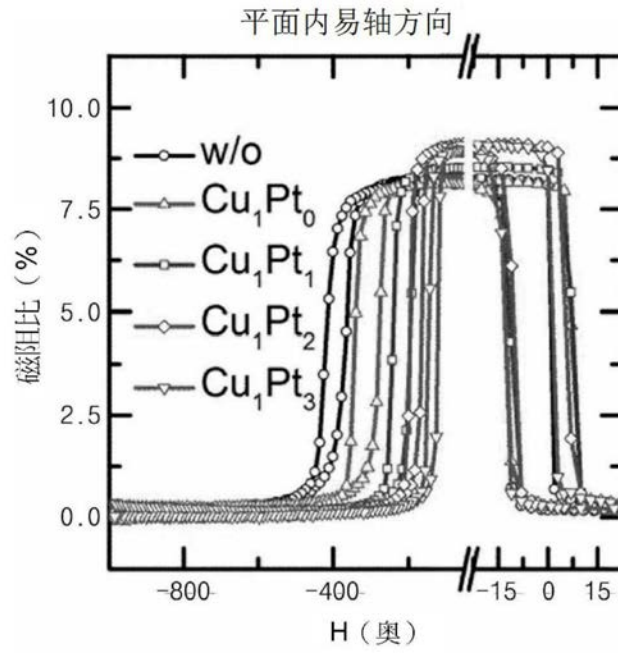


图14C

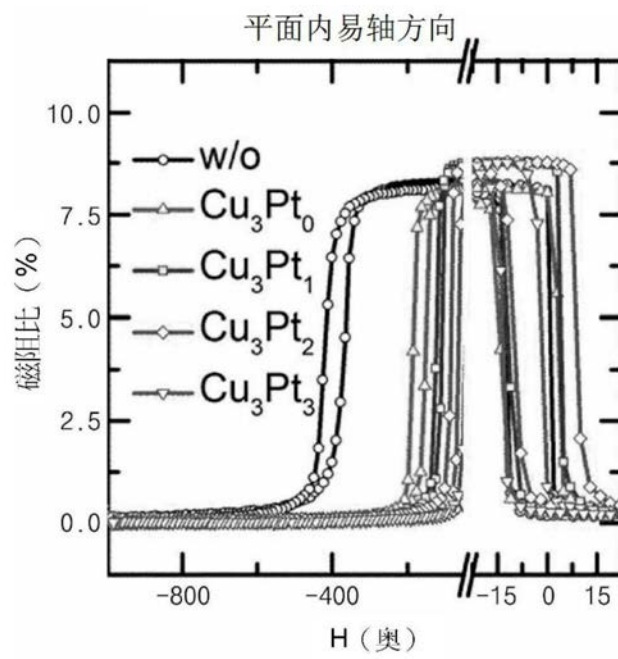


图14D

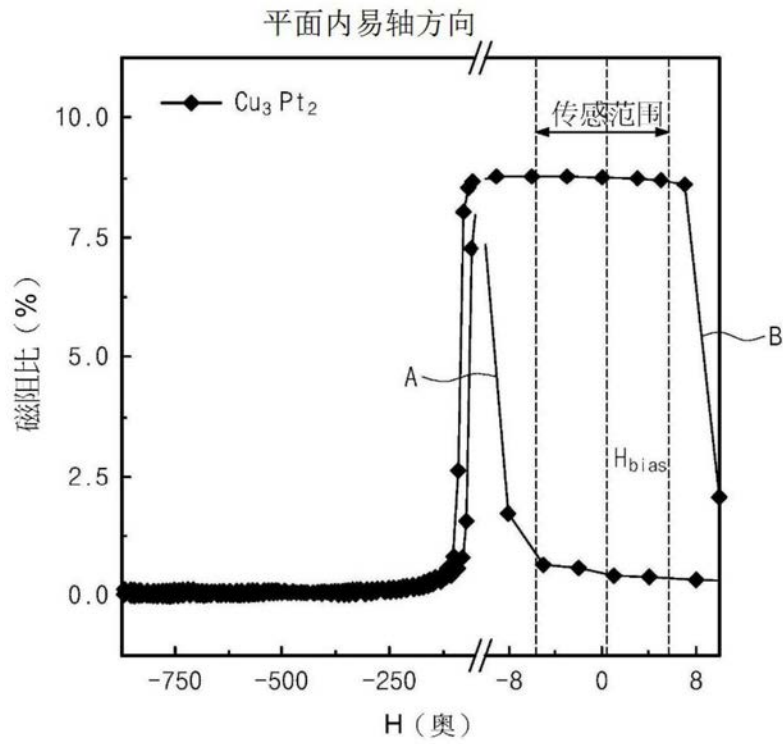


图15

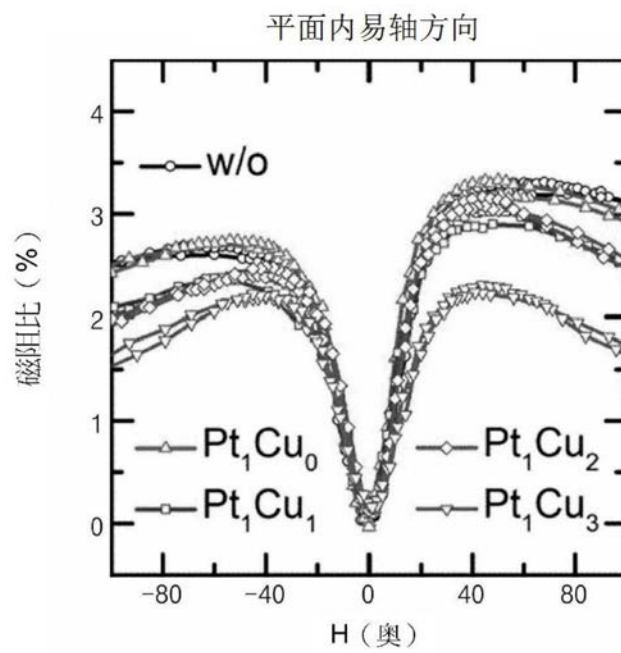


图16A

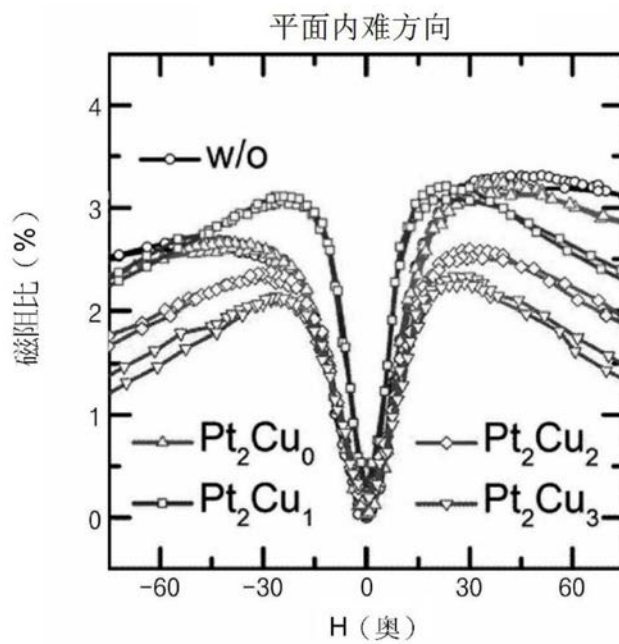


图16B

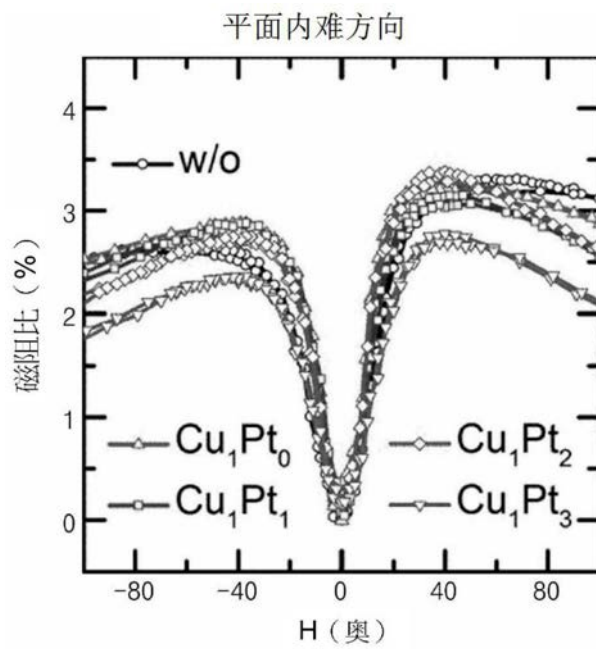


图16C

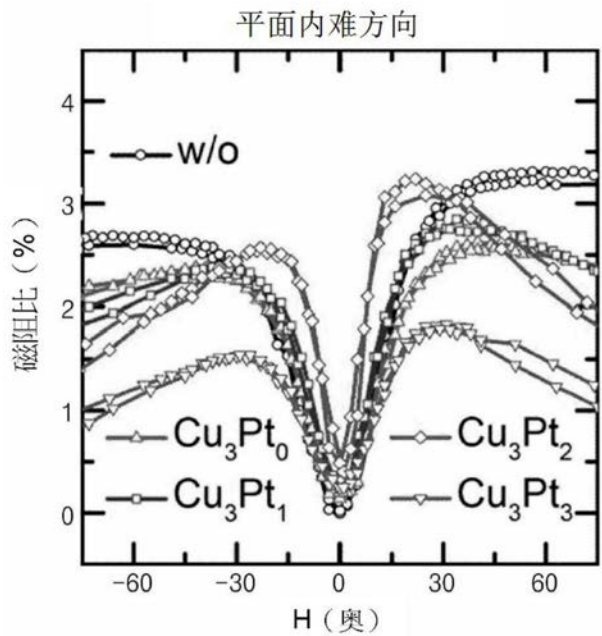


图16D

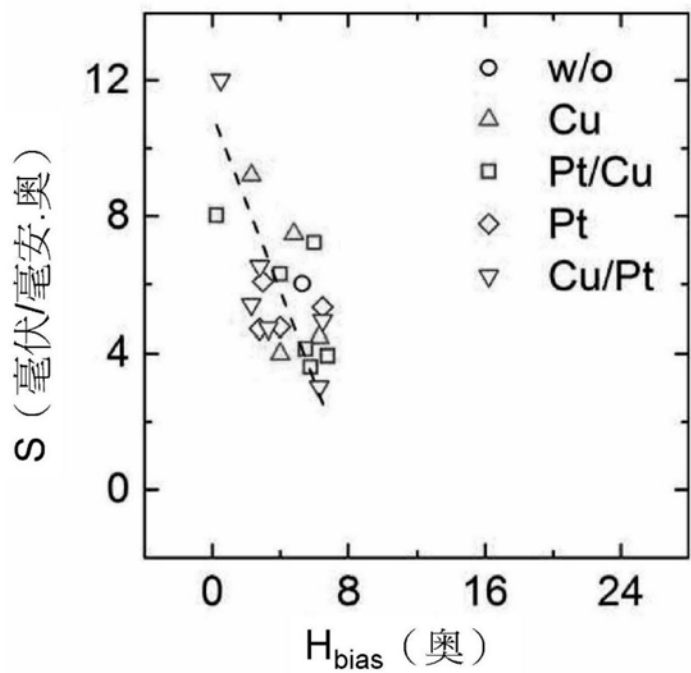


图17

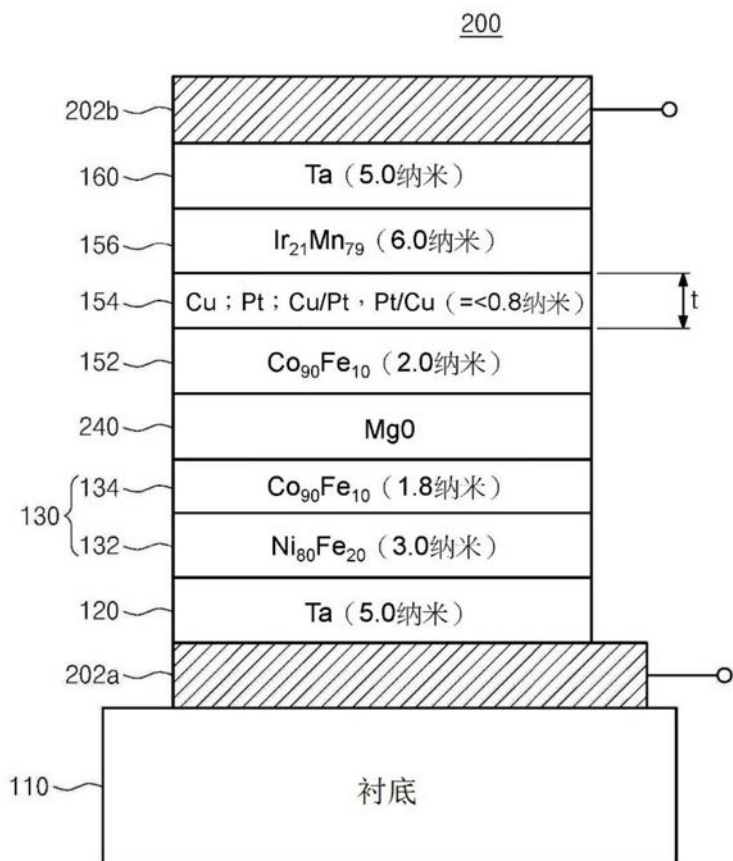


图18