



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109564968 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 29

(21) 申请号 201880002969.9

(22) 申请日 2018.06.19

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109564968 A

(43) 申请公布日 2019.04.02

(30) 优先权数据
10-2017-0078034 2017.06.20 KR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.01.29

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/KR2018/006893 2018.06.19

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/236121 KO 2018.12.27

(73) 专利权人 高丽大学校产学协力团
地址 韩国首尔市城北区安岩路145

(72) 发明人 林相镐 权炯根 李性来

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205
专利代理师 杨文娟 臧建明

(51) Int.Cl.
H01L 43/10 (2006.01)
H01L 43/02 (2006.01)
H01L 43/12 (2006.01)
H01L 43/08 (2006.01)

(56) 对比文件
WO 2016186178 A1, 2016.11.24
US 2014001586 A1, 2014.01.02
US 2016359103 A1, 2016.12.08
KR 20170001739 A, 2017.01.04
KR 101738828 B1, 2017.05.22
KR 20140091481 A, 2014.07.21
KR 20160112890 A, 2016.09.28
KR 20150077348 A, 2015.07.07
CN 105633111 A, 2016.06.01

审查员 齐梦宇

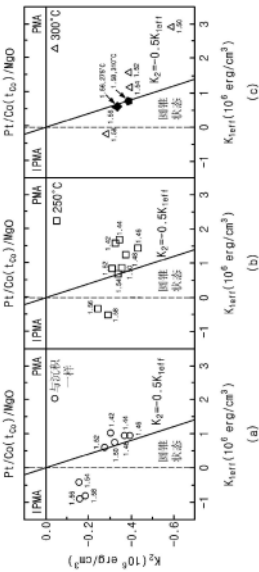
权利要求书1页 说明书8页 附图8页

(54) 发明名称

磁性隧道结装置及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供一种磁性隧道结装置及其制造方法。磁性隧道结装置包含重金属层、安置在重金属层上的自由磁性层以及安置在自由磁性层上的隧道绝缘层。重金属层包含铂(Pt)，自由磁性层包含钴(Co)，自由磁性层的磁化状态具有简易圆锥(cone)状态，自由磁性层具有正一级垂直磁各向异性常数及负二级垂直磁各向异性常数，且隧道绝缘层包含氧化镁(MgO)。根据实例实施例，可通过调整绝缘层的溅镀功率、后退火温度、磁性层的厚度等等来显著改进热稳定特性。或者，可通过形成具有简易圆锥状态的磁性层来显著改进由自旋力矩引起的磁化速度反转。



1. 一种磁性隧道结装置,包括:
衬底;
晶种层直接安置在所述衬底上;
包含铂的金属层直接安置在所述晶种层上;
包含钴的自由磁性层直接安置在所述金属层上;
隧道绝缘层直接安置在所述自由磁性层上;以及
保护层直接安置在所述隧道绝缘层上,
其中所述自由磁性层具有1.4 nm至1.8 nm的厚度,
其中所述自由磁性层具有正一级垂直磁各向异性常数 $K_{1\text{eff}}$ 及负二级垂直磁各向异性常数 K_2 ,
其中所述正一级垂直磁各向异性常数及所述负二级垂直磁各向异性常数满足公式 $K_2 < -1/2 K_{1\text{eff}}$ 。
2. 根据权利要求1所述的磁性隧道结装置,其中所述晶种层包含钼。
3. 根据权利要求1所述的磁性隧道结装置,还包括固定磁性层安置在所述隧道绝缘层上。
4. 根据权利要求3所述的磁性隧道结装置,其中所述固定磁性层为钴、铁、镍或含有其至少一个的合金。
5. 根据权利要求1所述的磁性隧道结装置,其中所述自由磁性层的磁化方向具有平面内方向与平面外方向之间的方向。
6. 根据权利要求1所述的磁性隧道结装置,其中所述金属层的厚度为5nm。

磁性隧道结装置及其制造方法

技术领域

[0001] 本公开涉及一种磁性隧道结装置,且更具体地说涉及一种包含呈简易圆锥状态的磁性层的磁性隧道结装置及其制造方法。

背景技术

[0002] 垂直磁各向异性 (Perpendicular Magnetic Anisotropy; PMA) 是与高热稳定特性直接相关的非常重要的特性,高热稳定特性对于磁存储器 (magnetic memory; MRAM) 及数据保持的高度集成至关重要。PMA可由块体独特特性或薄膜的界面呈现。到目前为止,对PMA的研究已在各种材料中进行,所述材料例如稀土3d过渡金属非晶态合晶,例如CoPd及CoPt等的多层薄膜,以及例如各自具有 $L1_0$ 结构的FePt、及CoPt的金属间化合物。然而,稀土3d过渡金属非晶态合晶及CoPt (Pd) 多层薄膜没有足够的PMA能量密度,且其PMA特性在相对较低的后-退火温度下退化。因此,稀土3d过渡金属非晶态合金及CoPt (Pd) 多层薄膜不适合于应用装置。同时,由于具有高PMA能量密度及改进的后-退火稳定性,例如各自具有 $L1_0$ 结构的FePt及CoPt的金属间化合物已受到广泛关注。然而,例如FePt及CoPt的金属间化合物也不适合用于制造磁存储器的工艺,这是因为建立金属间化合物的高长距离数量级程度需要摄氏600度或大于摄氏600度的极高工艺温度条件。因此,基于Co或CoFeB的重金属层/磁性层/绝缘层的三层薄膜已被广泛使用,这是由于三层薄膜易于制造且具有改进的后-退火稳定性及极高的PMA能量密度级。

[0003] 通常已知主要用于磁存储器应用的处于纳米级的三层薄膜的垂直磁各向异性 (PMA) 由于界面特性而具有显著影响。因此,三层薄膜的PMA的特性由其界面状态决定。在重金属层/磁性层/绝缘层的三层薄膜中,由于界面粗糙度或在溅射工艺期间发生的磁性层的氧化,PMA能量密度可能显著降低。

[0004] 在重金属层/磁性层/绝缘层的三层薄膜中,PMA还可被描述为两种组件的总和。PMA包含一级PMA (first-order PMA) 及二级PMA (second-order PMA)。根据两种能量的标志及相对大小,磁性薄膜的易磁化轴 (easy axis) 可具有平面内 (in-plane) 方向、平面外 (out-of-plane) 方向以及平面内方向与平面外方向之间的简易圆锥 (easy-cone) 方向,以及其中平面内方向及平面外方向共存的共存 (coexistence) 状态。可通过调整界面状态及磁性层的厚度来控制易磁化方向。

发明内容

[0005] 技术问题

[0006] 本公开的实例实施例提供一种重金属层/磁性层/绝缘层的三层薄膜,其在此后-退火高温下维持高PMA能量密度及其特性而不发生结构倒塌,以实施包含呈简易圆锥 (easy-cone) 状态的磁性层的磁性隧道结。

[0007] 本公开的实例实施例提供一种制造重金属层/磁性层/绝缘层的三层薄膜以实施包含呈简易圆锥 (easy-cone) 状态的磁性层的磁性隧道结的方法。

[0008] 技术方案

[0009] 本公开的一方面提供一种磁性隧道结装置,所述磁性隧道结装置包含重金属层、安置在所述重金属层上的自由磁性层以及安置在所述自由磁性层上的隧道绝缘层。所述重金属层包含铂(Pt),所述自由磁性层包含钴(Co),自由磁性层的磁化状态具有简易圆锥(cone)状态,自由磁性层具有正一级垂直磁各向异性常数及负二级垂直磁各向异性常数,且所述隧道绝缘层包含氧化镁(MgO)。

[0010] 在实例实施例中,所述自由磁性层可具有1.4nm(纳米)至1.8nm的厚度,所述自由磁性层的磁化在平面内方向上在与沉积相同的时间对准,且所述自由磁性层的磁化通过退火在简易圆锥状态下对准。

[0011] 本公开的另一方面提供一种制造磁性隧道结装置的方法,所述磁性隧道结装置包含重金属层、安置在所述重金属层上的自由磁性层以及安置在所述自由磁性层上的隧道绝缘层。所述方法包含:使用DC溅镀连续沉积晶种层、所述重金属层以及所述自由磁性层,以及使用RF溅镀在所述自由磁性层上沉积隧道绝缘层,以根据所述自由磁性层的厚度来制备多个样本;根据所述自由磁性层的所述厚度来测量每个所述样本的一级垂直磁各向异性常数及二级垂直磁各向异性常数,以及确认所述样本是否满足简易圆锥(easy-cone)状态;当所述样本不满足所述简易圆锥状态时,增加后退火温度或增加所述隧道绝缘层的RF溅镀功率,以再次制备样本;以及当所述样本满足所述简易圆锥状态时,选择满足条件的所述自由磁性层的所述厚度、所述后退火温度以及所述RF溅镀功率,以制造磁性隧道结装置。

[0012] 在实例实施例中,所述后退火温度可在摄氏275度至摄氏400度的范围内。

[0013] 在实例实施例中,用于沉积隧道绝缘层的RF溅镀功率可为 $1.10\text{W}/\text{cm}^2$ 或大于 $1.10\text{W}/\text{cm}^2$ 。

[0014] 在实例实施例中,自由磁性层可具有1.4nm至1.8nm的厚度。

[0015] 有利效果

[0016] 根据实例实施例,当通过溅镀方法将绝缘层沉积于磁性层上时,绝缘层下方的磁性层必然氧化。考虑到磁性层的厚度仅为数纳米,因此绝缘层的溅镀沉积可能具有严重缺点导致PMA特性退化。

[0017] 根据实例实施例,可通过调整绝缘层的溅镀功率、后退火或磁性层的厚度来控制重金属层与磁性层之间或在磁性层与绝缘层之间的边界处发生的PMA特性。

[0018] 根据实例实施例,可通过调整绝缘层的溅镀功率、后退火温度、磁性层的厚度等等来显著改进热稳定特性。或者,可通过形成具有简易圆锥(easy-cone)状态的磁性层来显著改进由自旋力矩引起的磁化速度反转。

附图说明

[0019] 图1为在一级垂直各向异性常数及二级各向异性常数的坐标上示出的磁性层的相图(phase diagram)。

[0020] 图2包含示出根据本公开的实例实施例的样本的结构横截面视图。

[0021] 图3A、图3B及图3C示出根据本公开的实例实施例的为三层结构的Pt/Co(0.6nm)/MgO(2.0nm)的X射线光电子光谱。

[0022] 图4示出根据本公开的实例实施例的为三层结构的Pt/Co(0.6nm)/MgO(2.0nm)的

归一化磁化值 (M/M_s) 施加磁场 (H) 磁滞曲线。

[0023] 图5示出根据本公开的实例实施例的为三层结构的Pt/Co (t_{Co}) /MgO (P_{MgO} , t_{MgO}) 的 $M_s t_{Co} - t_{Co}$ 曲线图。

[0024] 图6示出根据本公开的实例实施例的取决于为三层结构的Pt/Co (t_{Co}) /MgO (P_{MgO} , t_{MgO}) 的 t_{Co} 的PMA能量密度 (K_{eff}) 的曲线图。

[0025] 图7示出根据本公开的实例实施例的取决于RF溅镀功率及隧道绝缘层的后-退火的二级垂直磁各向异性常数的结果。

[0026] 图8为根据本公开的实例实施例示出为一级垂直磁各向异性常数及二级垂直磁各向异性常数的相图。

[0027] 图9为根据本公开的实例实施例的制造磁性隧道结装置的方法的流程图。

[0028] 图10为根据本公开的实例实施例的磁性隧道结装置的横截面视图。

[0029] 图11为根据本公开的实例实施例的磁性隧道结装置的横截面视图。

具体实施方式

[0030] 根据本公开的实例实施例的磁性隧道结可应用于自旋转移力矩MRAM (Spin transfer torque MRAM; STT-MRAM)。具体地说,所述磁性隧道结包含重金属层、安置在重金属层上的自由磁性层、安置在自由磁性层上的隧道绝缘层以及安置在隧道绝缘层上的固定磁性层。自由磁性层具有简易圆锥状态。固定磁性层可垂直地磁化,且自由磁性层可具有极角 (polar angle; θ_p) 且可具有简易圆锥状态。因此,可有效地减少主导STT-MRAM的切换时间 (tsw) 的孵育 (incubation) 时间。其结果是,可降低切换电流密度 (J_{sw})。

[0031] 由于呈圆锥状态的自由磁性层的极角,可减小穿隧磁阻 (tunneling magnetoresistance; TMR) 以降低读出 (read-out) 效率。然而,存在关系 $\Delta TMR \propto \cos \theta$, 其中 θ 为固定磁性层与自由磁性层之间的磁化向量角。当 $\theta_p \leq 20^\circ$ 时, ΔTMR 略微减小。在自由磁性层具有圆锥状态的情况下,STT-MRAM的热稳定性 (thermal stability; Δ) 维持在现有水平,而切换电流密度 (J_{sw}) 可降低22%,且切换时间 (tsw) 可降低56%。然而,此特性改进提供仅8%的TMR降低。因此,需要一种向自由磁性层提供圆锥状态同时具有竖直磁化状态的结构及方法。

[0032] 根据实例实施例,我们考察了用于向自由磁性层提供简易圆锥状态的条件。自由磁性层具有正一级垂直磁各向异性常数 (K_{1eff}) 及负二级垂直磁各向异性常数 (K_2)。详细地说,自由磁性层的二级垂直磁各向异性常数 (K_2) 应满足条件 $K_2 < -1/2K_{1eff}$ 。在特定后-退火条件及自由磁性层的厚度中满足所述条件。

[0033] 现将参看附图更完整地描述本公开的实例实施例。然而,本公开可以用不同形式实施,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此公开内容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所属领域的技术人员。在本公开的实例实施例中详细指示附图标记,且其实例在参考附图中表示。在每种可能的情况下,相同的附图标记在描述及附图中用以指代相同或相似元件。

[0034] 图1为在一级垂直各向异性常数及二级各向异性常数的坐标上示出的磁性层的相图 (phase diagram)。

[0035] 参看图1,磁性薄膜包含一级PMA (first-order PMA; K_{1eff}) 及二级PMA (second-

order PMA; K_2)。视 K_{eff} 及 K_2 的相对大小而定,磁性薄膜的易磁化轴(easy axis) z 可具有平面内(in-plane)状态、平面外(out-of-plane)状态、平面内(in-plane)状态与平面外状态之间的简易圆锥(easy-cone)状态,以及其中平面内状态及平面外状态共存的共存(coexistence)状态。可通过调整界面状态及磁性层的厚度来控制易磁化方向 m 。

[0036] 图2包含示出根据本公开的实例实施例的样本的结构横截面视图。

[0037] 参看图2,第一样本11具有硅衬底/Ta (5nm) /Pt (5nm) /Co (t_{Co}) /MgO (2nm) /Ta (3nm) 的结构。钴磁性层具有0.6nm至2.0nm的厚度(t_{Co})。使用DC溅镀来连续沉积Ta (5nm) /Pt (5nm) /Co (t_{Co})。使用RF溅镀来沉积MgO (2nm),且RF溅镀功率为4.39W/cm²。

[0038] 第二样本12具有Si (硅) 衬底/Ta (5nm) /Pt (5nm) /Co (t_{Co}) /MgO (2nm) /Ta (3nm) 的结构。钴磁性层具有0.6nm至2.0nm的厚度(t_{Co})。使用DC溅镀来连续沉积Ta (5nm) /Pt (5nm) /Co (t_{Co})。使用RF溅镀来沉积MgO (2nm),且RF溅镀功率为1.109W/cm²。

[0039] 第三样本13具有Si衬底/Ta (5nm) /Pt (5nm) /Co (t_{Co}) /Cu (2nm) /Ta (3nm) 的结构。钴磁性层具有1nm至2.0nm的厚度(t_{Co})。使用DC溅镀来连续沉积Ta (5nm) /Pt (5nm) /Co (t_{Co}) /Cu (2nm) /Ta (3nm)。

[0040] Si (硅) 衬底110为湿式氧化(wet-oxidation) Si/SiO₂的衬底。在于Si (硅) 衬底上形成Ta (5.0nm) 的晶种层120之后,形成Pt (5.0nm) 的重金属层130。在重金属层上改变磁性层140的厚度(t_{Co})。隧道绝缘层150安置在自由磁性层140上,且MgO用作隧道绝缘层。根据RF溅镀功率变化(P_{MgO})来沉积隧道绝缘层。在隧道绝缘层上形成Ta (3.0nm) 的保护层180以防止另外氧化。

[0041] 使用磁控溅镀沉积方法来沉积每一层。腔室的基础压力(base pressure)为 5×10^{-8} Torr (托),且使用氩(Ar)气注入在1 Torr或 2×10^{-3} Torr下执行沉积。在沉积期间,所有层原位(In-situ)形成而无真空断路,且使用单个目标(Ta、Pt、Co、或MgO)沉积每一层。

[0042] 晶种层120可含有钽(Ta)、钽/钨(Ta/Ru)、钽/铂/钨(Ta/Pt/Ru)等等,包含钽(Ta)且可包含能够控制界面粗糙度的单个层或多个层。界面粗糙度可在钽(Ta)的最佳厚度处显著减小。

[0043] 除钴(Co)之外,自由磁性层140可包含铁(Fe)(其为单个材料),或CoFeB(其为合金)。自由磁性层140具有一级垂直磁各向异性常数(K_{eff})及二级垂直磁各向异性常数(K_2)。可通过调整磁性层的厚度来控制磁各向异性。

[0044] 隧道绝缘层150可包含绝缘层,例如MgO、AlO_x、GdO_x等等。可根据施加的溅镀功率来控制渗透磁性层或重金属层的氧的量,同时沉积隧道绝缘层。由于隧道绝缘层的厚度也与氧渗透的量成比例,因此其还可以相同方式来控制。可通过调整绝缘层的溅镀功率来控制界面粗糙度。

[0045] 可通过调整重金属层与磁性层之间的界面的粗糙度或磁性层与绝缘层之间的界面的粗糙度来调整二级垂直磁各向异性能量密度。另外,可通过调整后退火工艺条件来调整界面粗糙度。

[0046] 可通过减小溅镀功率或MgO的厚度来抑制渗透磁性层的氧的量。当增加MgO的溅镀功率时,二级垂直各向异性常数增加至负值。通过高温退火来诱导所渗透氧的反向扩散,且二级垂直各向异性常数增加至负值。

[0047] 通过根据沉积速率精确地控制时间来调整薄膜的厚度。使用表面轮廓仪(Surface

Profiler) 来精确地测量所沉积薄膜的厚度,以精确地测量薄膜的沉积速率。X射线光电子光谱(X-ray Photoelectron Spectroscopy,XPS)用于估计所制备样本的氧化量。另外,振动样本磁力计(Vibrating Sample Magnetometer,VSM)及超导量子干涉装置(Superconducting Quantum Interference Device,SQUID)用于分析磁特性。

[0048] 图3A、图3B及图3C示出根据本公开的实例实施例的为三层结构的Pt/Co (0.6nm)/MgO (2.0nm)的X射线光电子光谱。

[0049] 参看图3A、图3B及图3C,图3A及图3B分别示出在 $P_{\text{MgO}}=4.39\text{W}/\text{cm}^2$ 及 $1.10\text{W}/\text{cm}^2$ 的条件下堆叠的第一样本11及第二样本12的三层薄膜(退火温度 $T_a=350^\circ\text{C}$),且图3C为在对相应样本退火之前的 $2p_{3/2}$ 光谱区域的放大视图。经由安装氧化的钴(Co)的量可经由安装估计。根据所估计的量,在 $P_{\text{MgO}}=4.39\text{W}/\text{cm}^2$ 的情况下,钴(Co)氧化物的含量为91.9%,且在 $P_{\text{MgO}}=1.10\text{W}/\text{cm}^2$ 的情况下,钴(Co)氧化物的含量为83.9%。可在减小溅镀功率时抑制Co的氧化。

[0050] 图4示出根据本公开的实例实施例的为三层结构的Pt/Co (0.6nm)/MgO (2.0nm)的归一化磁化值(M/M_s)施加磁场(H)磁滞曲线(hysteresis curve)。

[0051] 参看图4,测量温度为100K。如果钴(Co)氧化物形成为具有相当大的厚度,那么交换偏置(Exchange bias) (H_{ex})可应用于磁性层140。磁滞曲线在负加磁场的方向($H \perp$)上偏置。可见,在MgO隧道绝缘层的厚度增加至约2.0nm时形成大量的钴(Co)氧化物。

[0052] 图5示出根据本公开的实例实施例的为三层结构的Pt/Co (t_{Co})/MgO ($P_{\text{MgO}}, t_{\text{MgO}}$)的 $M_s t_{\text{Co}} - t_{\text{Co}}$ 曲线。

[0053] 参看图5,可经由x拦截(x-intercept)导出磁性失效层(Magnetic Dead Layer (MDL))的值。可经由斜率获得整个样本的平均饱和磁化(M_s)值。可观测到,当溅镀功率及MgO的厚度减小时,MDL值显著减小,即,氧渗透的量减小。作为一实例,可见在退火前,在 $P_{\text{MgO}}=4.39\text{W}/\text{cm}^2$ 及 $t_{\text{MgO}}=2.0\text{nm}$ 时的MDL值与在 $P_{\text{MgO}}=1.10\text{W}/\text{cm}^2$ 及 $t_{\text{MgO}}=1.0\text{nm}$ 时的MDL值之间的差值为约0.2nm。类似地,可见在图5的(a)部分及(b)部分中,当执行退火时,通过所渗透氧的反向扩散,MDL值逐渐减小。

[0054] 图6示出根据本公开的实例实施例的取决于为三层结构的Pt/Co (t_{Co})/MgO ($P_{\text{MgO}}, t_{\text{MgO}}$)的 t_{Co} 的PMA能量密度(K_{eff})的曲线图。

[0055] 参看图6,可见在图6的(a)部分当相较 $P_{\text{MgO}}=4.39\text{W}/\text{cm}^2$ 及 $t_{\text{MgO}}=2.0\text{nm}$ 的情况减小MgO的溅镀功率时及图6的(b)部分在 $P_{\text{MgO}}=1.10\text{W}/\text{cm}^2$ 及 $t_{\text{MgO}}=2.0\text{nm}$ 的情况下进一步提高PMA能量密度(K_{eff})。在每种情况下,观测到的最大PMA能量密度(K_{eff})值分别为 $1.88 \times 10^7 \text{erg}/\text{cm}^3$ 及 $1.99 \times 10^7 \text{erg}/\text{cm}^3$ 。这些值远高于根据现有技术的三层薄膜中观测到的值。

[0056] 图7示出根据本公开的实例实施例的取决于RF溅镀功率及隧道绝缘层的后-退火的二级垂直磁各向异性常数的结果。

[0057] 参看图7,当MgO隧道绝缘层的RF溅镀功率为 $4.39\text{W}/\text{cm}^2$ 时,在所有后-退火温度(摄氏20度至摄氏400度)下呈现负 K_2 值。

[0058] 然而,当MgO隧道绝缘层的RF溅镀功率为 $1.10\text{W}/\text{cm}^2$ 时, K_2 展示根据后-退火温度的正值或负值。

[0059] 在样本具有Pt/Co/Cu结构的情况下, K_2 值小于其他样本的值,且在所有退火温度下接近于零(0)。Pt/Co的下部界面或Co/MgO的上部界面解释为在MgO层的沉积工艺期间受

影响。

[0060] 不管MgO的RF溅镀功率如何,当增加退火温度时, K_2 增加为具有一负值。此特性被解释为取决于退火温度的Co/MgO界面的结构变化。

[0061] 当增加MgO的RF溅镀功率或增加退火温度时,可获得 K_2 具有负值的特性。

[0062] 为了使自由磁性层140维持在简易圆锥状态,自由磁性层140具有正一级垂直磁各向异性常数($K_{1\text{eff}}$)及负二级垂直磁各向异性常数(K_2)。具体地说,自由磁性层140的二级垂直磁各向异性常数(K_2)应满足条件 $K_2 < -1/2K_{1\text{eff}}$ 。

[0063] 假设PMA由界面效应产生,那么一级垂直磁各向异性常数与一级垂直磁各向异性常数及退磁(demagnetization)能量在竞争中。因此,一级垂直磁各向异性常数与磁性薄膜的厚度成反比。因此,当减小磁性薄膜的厚度时,可获得正一级垂直磁各向异性常数($K_{1\text{eff}}$)。优选地,磁性薄膜的厚度可为1.6nm或小于1.6nm。

[0064] 另一方面,二级垂直磁各向异性常数可取决于薄膜中的一级垂直磁各向异性能量的空间分布。1)可控制隧道绝缘层的溅镀功率或2)可控制后退火温度,以使得二级垂直磁各向异性常数(K_2)满足 $K_2 < -1/2K_{1\text{eff}}$ 且具有负值。

[0065] 图8为根据本公开的实例实施例示出为一级垂直磁各向异性常数及二级垂直磁各向异性常数的相图。

[0066] 参看图8,当MgO隧道绝缘层的溅镀功率为 $4.39\text{W}/\text{cm}^2$ 时,相图示出一级垂直磁各向异性常数($K_{1\text{eff}}$)及二级垂直磁各向异性常数(K_2)的坐标。在未执行退火的沉积状态及退火温度为摄氏250度(图8的(b)部分)的情况下,未发现呈简易圆锥状态的钴磁性层的厚度。

[0067] 然而,当退火温度为摄氏300度(图8的(c)部分)时,在钴磁性层的厚度为1.56nm时发现简易圆锥状态。

[0068] 在退火温度为摄氏310度的情况下,在钴磁性层的厚度为1.58nm时发现简易圆锥状态。在退火温度为摄氏275度的情况下,在钴磁性层的厚度为1.56nm时发现简易圆锥状态。

[0069] 因此,对于呈简易圆锥状态的磁性层,自由磁性层可具有1.56nm至1.58nm的厚度,且退火温度可为约摄氏275度至约摄氏400度。由于随着退火温度的增加,二级垂直磁各向异性常数(K_2)的绝对值也增加,因此可通过选择自由磁性层的厚度及增加退火温度来获得简易圆锥状态。

[0070] 图9为根据本公开的实例实施例的制造磁性隧道结装置的方法的流程图。

[0071] 参看图9,磁性隧道结装置可包含重金属层、安置在重金属层上的自由磁性层以及安置在自由磁性层上的隧道绝缘层。

[0072] 设定初始条件来制造磁性隧道结装置S110。初始条件可包含后退火温度及隧道绝缘层的溅镀功率。初始条件还可包含重金属层、自由磁性层以及隧道绝缘层的厚度及材料。

[0073] 使用DC溅镀连续沉积晶种层、重金属层以及自由磁性层,以及使用RF溅镀在自由磁性层上沉积隧道绝缘层,以根据自由磁性层的厚度来制备多个样本S120。

[0074] 根据自由磁性层的厚度来测量每个样本的一级垂直磁各向异性常数及二级垂直磁各向异性常数S130。确认样本是否满足简易圆锥(easy-cone)状态S140。

[0075] 当所述样本不满足简易圆锥状态时S150(否),增加后退火温度或增加隧道绝缘层的RF溅镀功率,以再次制备样本S160。

[0076] 当所述样本满足简易圆锥状态时S150(是),选择满足条件的自由磁性层的厚度、后退火温度以及RF溅镀功率,以制造磁性隧道结装置S170。

[0077] 最终选择的后退火温度可在摄氏275度至摄氏400度的范围内。用于沉积隧道绝缘层的RF溅镀功率可为 $1.10\text{W}/\text{cm}^2$ 或大于 $1.10\text{W}/\text{cm}^2$ 。自由磁性层的厚度可在1.4nm至1.8nm的范围内。磁性隧道结装置可具有Pt(5nm)/Co(t_{Co})/MgO(2nm)结构。

[0078] 图10为根据本公开的实例实施例的磁性隧道结装置的横截面视图。

[0079] 参看图10,磁性隧道结装置100可包含重金属层130、安置在重金属层130上的自由磁性层140以及安置在自由磁性层140上的隧道绝缘层150。磁性隧道结装置100可构成自旋力矩转移磁性随机存取存储器(spin-torque transfer magnetic random access memory;STT-MRAM)。重金属层130可包含铂(Pt),自由磁性层140可包含钴(Co),自由磁性层140的磁化状态可具有简易圆锥(easy-cone)状态,且自由磁性层140具有正一级垂直磁各向异性常数及负二级垂直磁各向异性常数。隧道绝缘层150包含氧化镁(MgO)。

[0080] 自由磁性层140可具有1.4nm至1.8nm的厚度。自由磁性层140的磁化可在平面内方向上在与沉积相同的时间对准,且自由磁性层140的磁化可通过退火在简易圆锥状态下对准。

[0081] 晶种层120可安置在重金属层130下方,且可包含钽(Ta)(5nm)。衬底110可安置在晶种层120下方。衬底110可为硅衬底。

[0082] 隧道绝缘层150可包含MgO(2nm),且隧道绝缘层可使用RF溅镀形成。

[0083] 固定磁性层160可安置在隧道绝缘层150上。固定磁性层可呈现具有垂直磁各向异性的垂直磁化状态。固定磁性层160的材料可为钴(Co)、铁(Fe)、镍(Ni)或含有其至少一个的合金。具体地说,固定磁性层160可包含钴铁硼(CoFeB)。

[0084] 合成反铁磁层(synthetic antiferromagnet layer;SAF)170可安置在固定磁性层160上。合成反铁磁层170可对固定磁性层160的磁化方向进行固定。各向异性反铁磁层170可包含[Pt/Co] n 的底部多层薄膜172、钌(Ru)导电分隔层173以及[Pt/Co] n 的顶部多层薄膜174。

[0085] 保护层180可安置在合成反铁磁层170上。保护层180可包含钽(Ta)。

[0086] 图11为根据本公开的实例实施例的磁性隧道结装置的横截面视图。

[0087] 参看图11,磁性隧道结装置200可包含重金属层130、安置在重金属层130上的自由磁性层140以及安置在自由磁性层140上的隧道绝缘层150。磁性隧道结装置200可构成自旋力矩振荡器(Spin torque oscillator;STO)。

[0088] 重金属层130可包含铂(Pt),自由磁性层140可包含钴(Co),且自由磁性层140的磁化状态可具有简易圆锥(easy-cone)状态。自由磁性层140具有正一级垂直磁各向异性常数及负二级垂直磁各向异性常数,且隧道绝缘层150可包含氧化镁(MgO)。

[0089] 自由磁性层具有1.4nm至1.8nm的厚度。自由磁性层的磁化在平面内方向上在与沉积相同的时间对准,且可通过退火在简易圆锥状态下对准。

[0090] 晶种层120可安置在重金属层130下方,且晶种层可包含钽(Ta)(5nm)。衬底110可安置在晶种层120下方。衬底可为硅衬底。

[0091] 隧道绝缘层150可包含MgO(2nm),且可使用RF溅镀形成。

[0092] 固定磁性层160可安置在隧道绝缘层150上。固定磁性层160可呈现具有垂直磁各

向异性的垂直磁化状态。固定磁性层160的材料可为钴 (Co)、铁 (Fe)、镍 (Ni) 或含有其至少一个的合金。具体地说,固定磁性层160可包含钴 (Co) 或钴铁硼 (CoFeB)。

[0093] 保护层180可安置在固定磁性层160上。保护层可包含钽 (Ta)。

[0094] 不同于自由磁性层140具有垂直磁各向异性的情况,呈简易圆锥状态的自由磁性层140可在无外部磁场的情况下执行微波振荡 (microwave oscillation)。就简易圆锥状态而言,自由磁性层140具有特定极角 (θ_E), 且因此有效的各向异性场 (effective anisotropy field, H_{eff}) 在平衡角 ($\theta_{eq} = \theta_E$) 处具有零值。由于自旋力矩转变为磁化,因此有效的各向异性场 (H_{eff}) 变为非零 (0) 的,从而导致磁化的微波振荡。

[0095] 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。

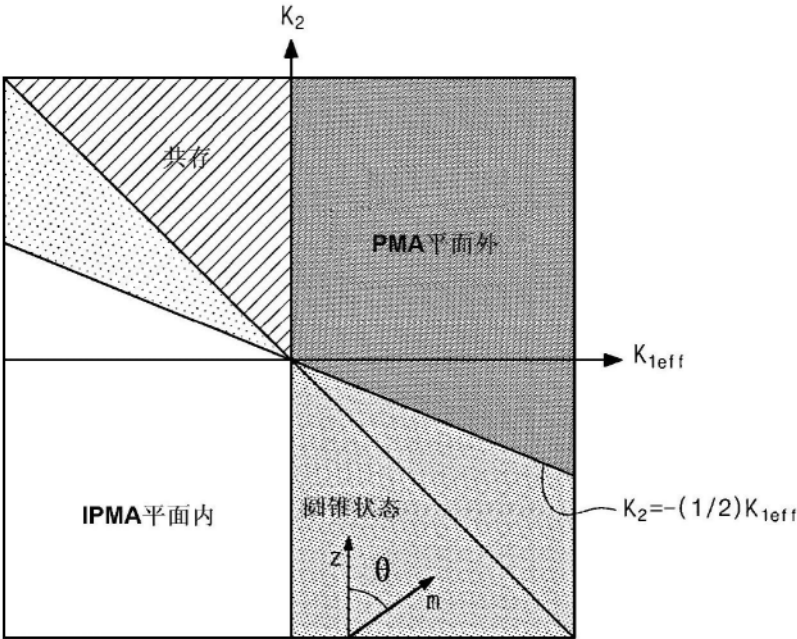


图1

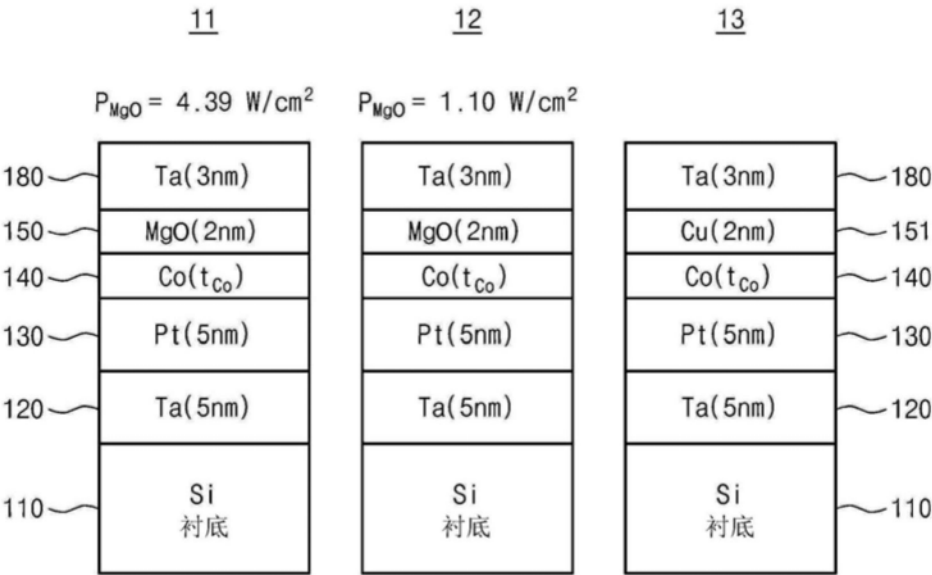


图2

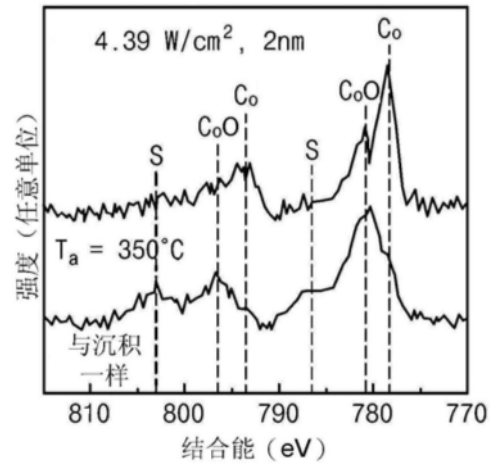


图3A

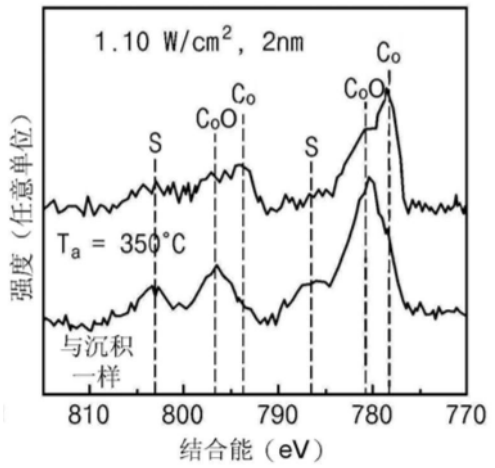


图3B

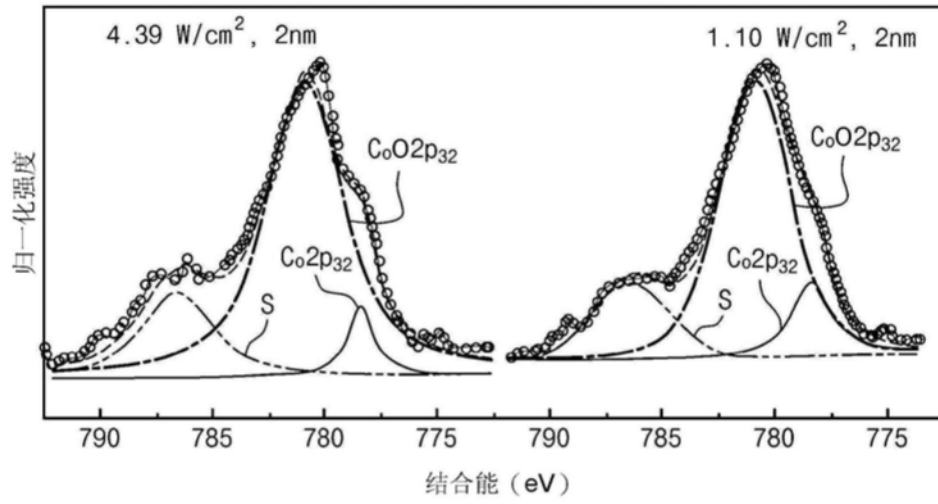


图3C

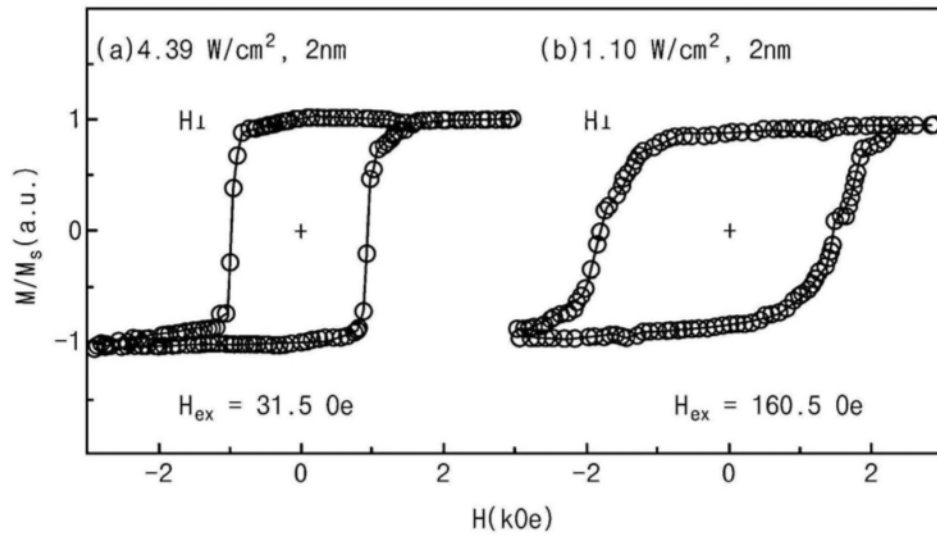


图4

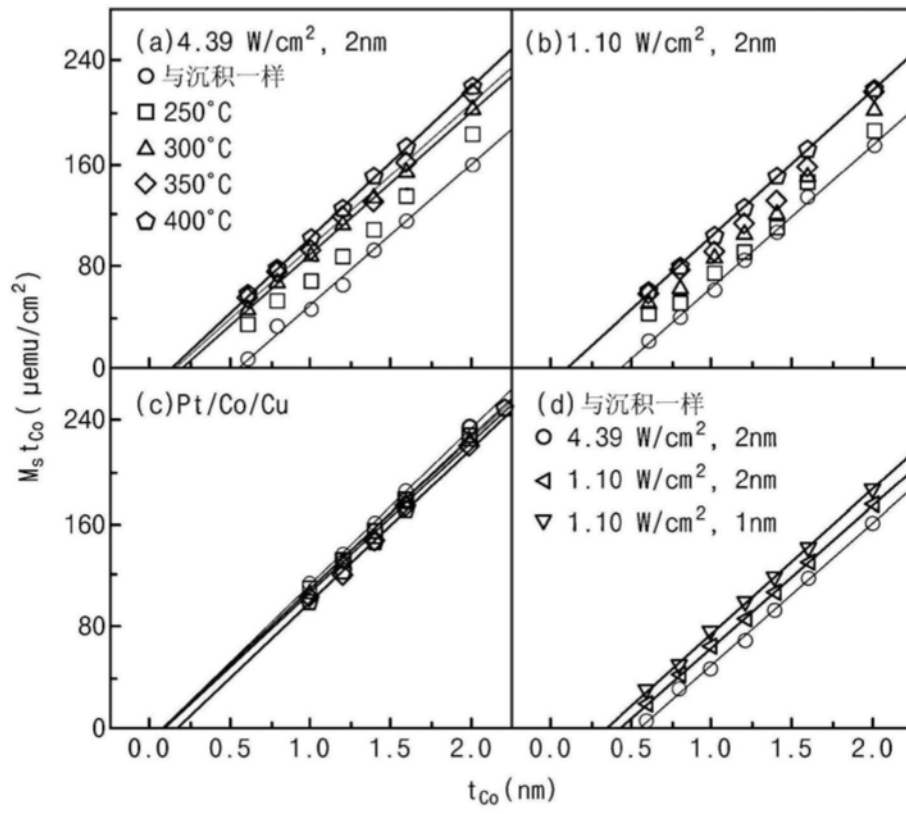


图5

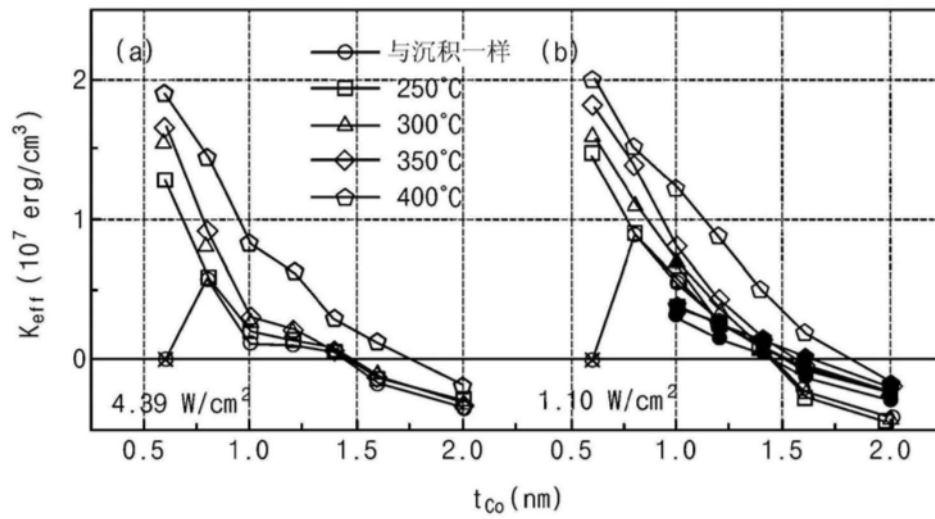


图6

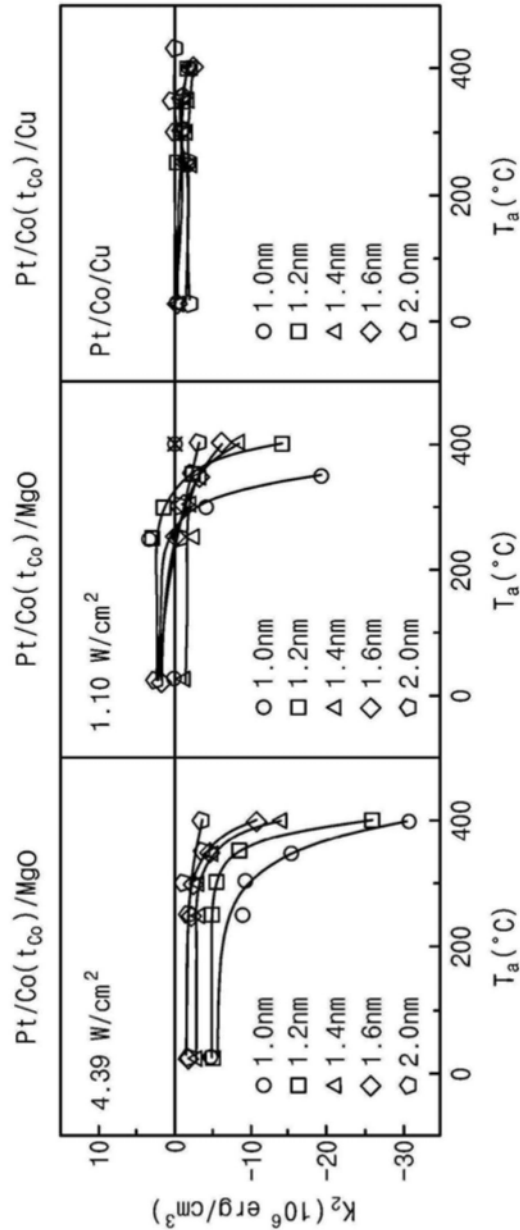


图7

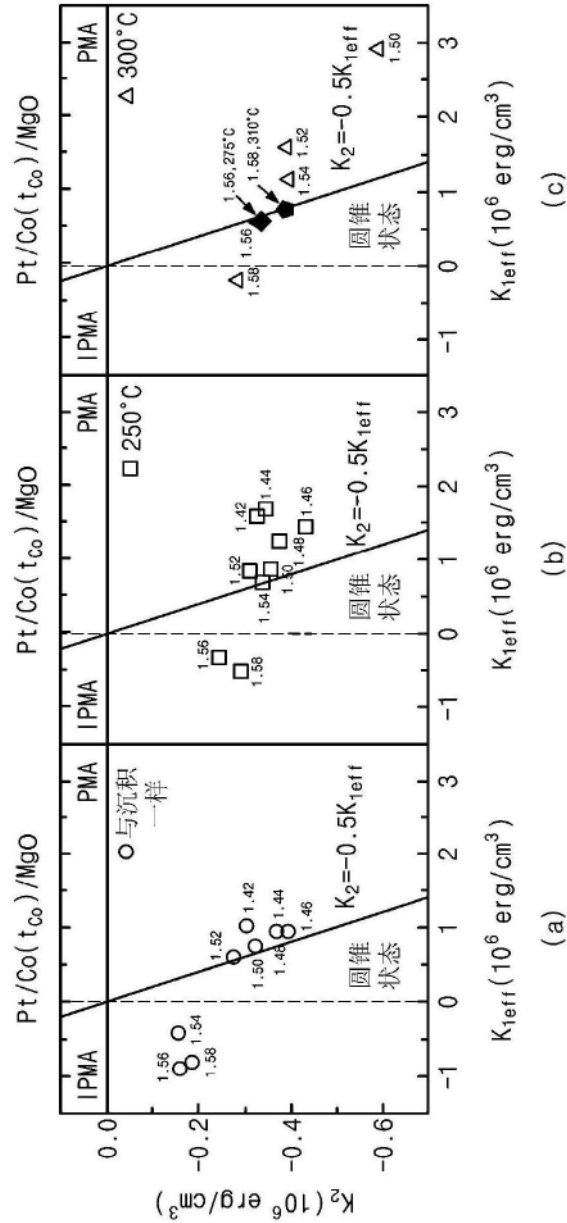


图8

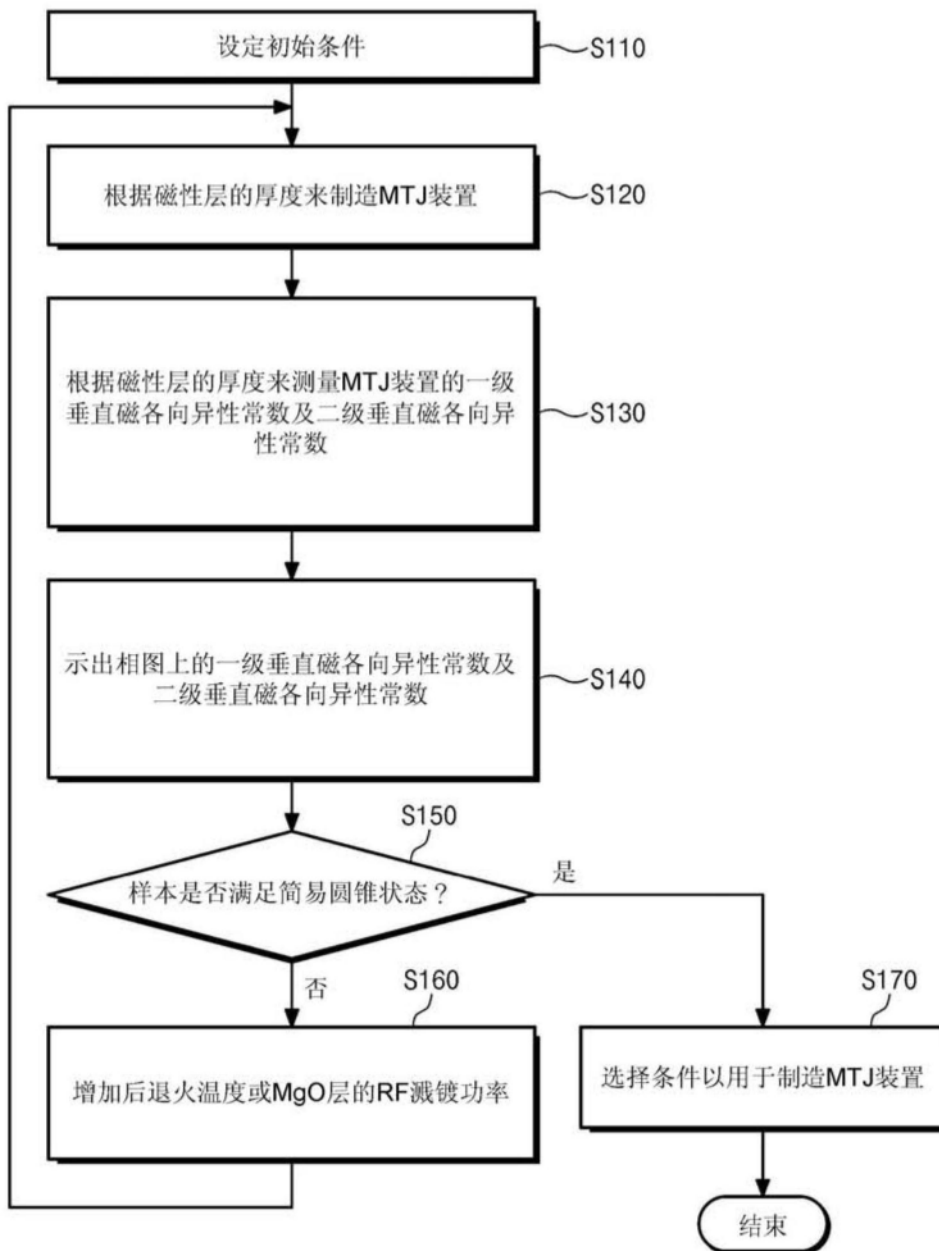


图9

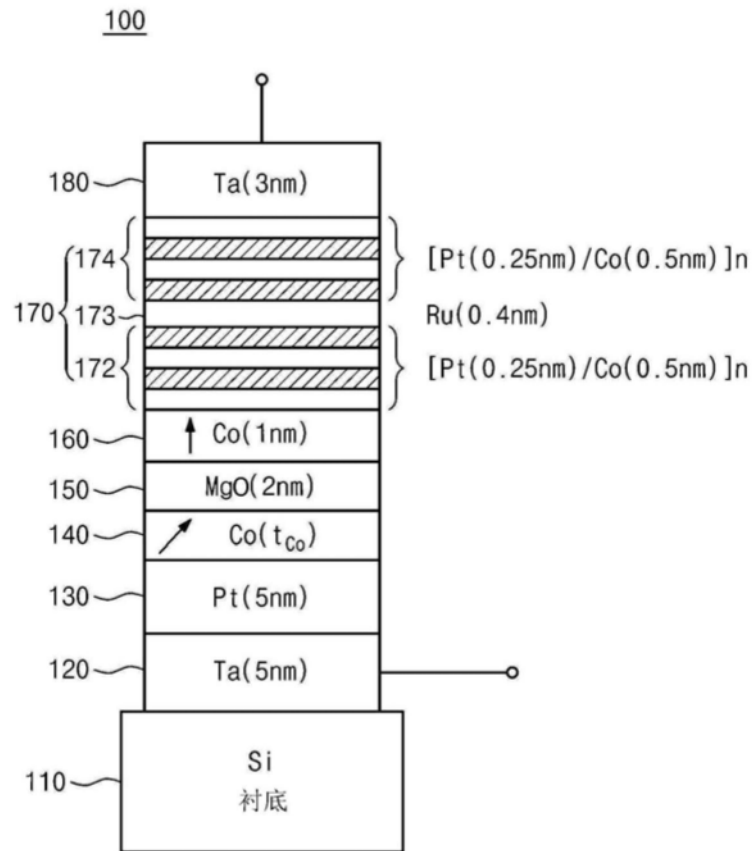


图10

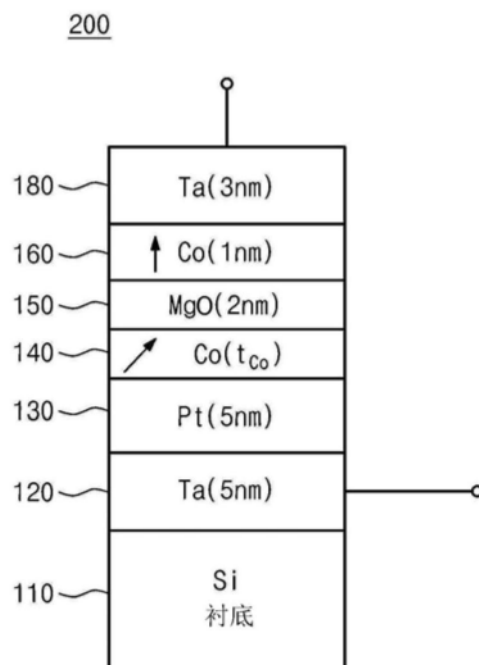


图11