

# (12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2023年2月23日 (23.02.2023)



(10) 国际公布号  
**WO 2023/019519 A1**

(51) 国际专利分类号:  
**H01L 27/10** (2006.01) **G11C 11/02** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/113579

(22) 国际申请日: 2021年8月19日 (19.08.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 华为技术有限公司 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。

(72) 发明人: 徐仲棋 (XU, Zhongqi); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 秦青 (QIN, Qing); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 周雪 (ZHOU, Xue); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 焦慧芳 (JIAO, Huifang); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 丘学鹏 (QIU, Xuepeng); 中国上海市杨浦区赤峰路67号同济大学南校区第一

实验楼519, Shanghai 200092 (CN)。 朱伟 (ZHU, Wei); 中国上海市杨浦区赤峰路67号同济大学南校区第一实验楼519, Shanghai 200092 (CN)。 杨黄林 (YANG, Huanglin); 中国上海市杨浦区赤峰路67号同济大学南校区第一实验楼519, Shanghai 200092 (CN)。

(74) 代理人: 北京润泽恒知识产权代理有限公司 (BEIJING RUN ZEHENG INTELLECTUAL PROPERTY LAW FIRM); 中国北京市海淀区中关村南大街甲18号北京国际C座6层606, Beijing 100081 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: MAGNETIC DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR, MAGNETIC MEMORY AND ELECTRONIC DEVICE

(54) 发明名称: 磁性器件及其制作方法、磁性存储器、电子设备



图2

(57) Abstract: Provided in the present application are a magnetic device and a manufacturing method therefor, a magnetic memory and an electronic device, which relate to the technical field of magnetic tunneling junctions and can solve the problem of not being possible to apply transition-metal rare-earth ferromagnetic alloy materials to a magnetic tunneling junction due to the poor annealing tolerance of perpendicular magnetic anisotropy of said materials. The magnetic device comprises a magnetic tunneling junction, the magnetic tunneling junction comprising a pinned layer, a reference layer, a barrier layer and a free layer, which are stacked in sequence. At least one of the pinned layer or the free layer comprises: a transition-metal rare-earth ferromagnetic alloy film, and an oxide layer located on the surface of the transition-metal rare-earth ferromagnetic alloy film.

(57) 摘要: 本申请提供了一种磁性器件及其制作方法、磁性存储器、电子设备, 涉及磁性隧道结技术领域; 能够解决因过渡金属-稀土亚铁磁合金材料的垂直磁各向异性的退火耐受性较差而无法应用在磁性隧道结中的问题。该磁性器件包括磁性隧道结; 磁性隧道结包括依次堆叠设置的钉扎层、参考层、势垒层、自由层。其中, 钉扎层或自由层中的至少一个包括: 过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜以及位于过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜表面的氧化物层。

WO 2023/019519 A1

ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

## 磁性器件及其制作方法、磁性存储器、电子设备

### 技术领域

5 本申请涉及磁性隧道结技术领域，尤其涉及一种磁性器件及其制作方法、磁性存储器、电子设备。

### 背景技术

10 亚铁磁材料是一种区别于铁磁和反铁磁，又兼具二者特点的材料。过渡金属-稀土亚铁磁合金（transition metal rare earth ferrimagnetic alloy, TM-RE）材料作为亚铁磁材料中重要的一类材料，因其无定型态，并能通过调节合金元素及组分配比调控其宏观净磁矩、体垂直磁各向异性（bulk perpendicular magnetic anisotropy, b-PMA）等性质而被广泛研究和应用。

15 TM-RE 材料在磁性隧道结（magnetic tunneling junction, MTJ）中具有广阔的应用前景，但是由于 TM-RE 材料的垂直磁各向异性的退火耐受性较差，在制备包含 MTJ 的磁性器件的过程中，由于后道退火工艺的温度常常会超过 400°C 并维持半个小时以上，从而导致 TM-RE 材料无法直接应用在 MTJ 中。

### 发明内容

20 本申请实施例提供一种磁性器件及其制作方法、磁性存储器、电子设备，能够解决因 TM-RE 合金材料的垂直磁各向异性的退火耐受性较差而无法应用在 MTJ 中的问题。

25 本申请提供一种磁性器件（也可以称为 MTJ 器件），该磁性器件中包括磁性隧道结（MTJ）。其中，磁性隧道结包括依次堆叠设置的钉扎层、参考层、势垒层、自由层；钉扎层或自由层中的至少一个包括：过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜（TM-RE 薄膜）和以及位于 TM-RE 薄膜表面的氧化物层；也即氧化物层位于 TM-RE 薄膜靠近或远离势垒层一侧的表面。也即，可以是 MTJ 的自由层中包括 TM-RE 薄膜和氧化物层；也可以是 MTJ 的钉扎层中包括 TM-RE 薄膜和氧化物层；还可以是 MTJ 的自由层和钉扎层中均设置有 TM-RE 薄膜和氧化物层。

30 在该磁性器件中，通过设置 MTJ 的部分膜层采用 TM-RE 薄膜，并且在 TM-RE 薄膜的至少一个表面设置氧化物层。这样一来，磁性器件在进行后道退火过程中氧化物层中的氧原子扩散进入 TM-RE 材料，氧原子的 2p 轨道与 TM-RE 材料中的过渡金属元素的 3d 轨道中含有 z 分量（即垂直 TM-RE 的方向的分量）轨道杂化，使得 TM-RE 材料的电子自旋排布取向偏向垂直薄膜方向，也即通过氧化物层向 TM-RE 薄膜提供了额外的垂直磁各向异性来源，从而提升了 TM-RE 薄膜的垂直磁各向异性的退火耐受性，进而使得 TM-RE 35 材料能够应用至 MTJ。

另外，由于 TM-RE 材料具有非晶态的特性，从而能够使得与之相邻生长的薄膜不会因为晶格不匹配而导致层间的应力以及由于多层结构生长导致的粗糙度的累积，这样一来，可以直接在 TM-RE 薄膜表面形成对界面平整度要求较高的其他膜层，而无需额外制

作中间膜层来保证界面平整度，进而提升了磁性器件各膜层整体的平整度，提升了磁性器件的整体性能。

5 在一些可能实现的方式中，TM-RE 薄膜中包括 TM-RE 材料；TM-RE 材料中的过渡金属元素包括 Co, Fe 或 Ni 中的至少一种；TM-RE 材料中的稀土元素包括 Tb, Gd, Dy 或 Eu 中的至少一种。

在一些可能实现的方式中，TM-RE 材料还包括 Ta, W, Si, B 或 C 中的至少一种掺杂元素。

在一些可能实现的方式中，TM-RE 薄膜中包括 CoTb, FeTb, CoGd, CoTbB, FeTbB 或 CoGdB 中的至少一种。

10 在一些可能实现的方式中，氧化物层中的氧化物包括含镁氧化物，含铜氧化物，含铝氧化物，含锌氧化物，含镍氧化物，含铬氧化物，含钛氧化物，含硅氧化物或含硒氧化物中的至少一种。

在一些可能实现的方式中，氧化物层中包括 MgO, SiO<sub>2</sub> 或 MgAlO<sub>3</sub> 中的至少一种。

15 在一些可能实现的方式中，MTJ 的自由层采用复合自由层，该复合自由层包括依次堆叠设置的铁磁层、层间耦合层、TM-RE 薄膜和氧化物层；其中，铁磁层与势垒层接触。也就是说，可以将 TM-RE 薄膜和氧化物层应用至 MTJ 的自由层中。在此情况下，通过将 TM-RE 薄膜和氧化物层应用至 MTJ 的复合自由层中，一方面，通过氧化物层向 TM-RE 薄膜提供了额外的垂直磁各向异性来源，从而提升了 TM-RE 薄膜的垂直磁各向异性的退火耐受性；另一方面，复合自由层基于 TM-RE 薄膜能够提供体垂直磁各向异性 (b-PMA)。

20 在一些可能实现的方式中，MTJ 的钉扎层中可以包括一个或多个 TM-RE 薄膜；其中，至少一个 TM-RE 薄膜在靠近和/或远离势垒层一侧的表面设置有氧化物层。也就是说，在钉扎层中，可以在至少一个 TM-RE 薄膜的上表面设置有氧化物层；也可以在至少一个 TM-RE 薄膜的下表面设置有氧化物层；还可以在至少一个 TM-RE 薄膜的下表面和下表面分别设置有氧化物层。在此情况下，通过将 TM-RE 薄膜和氧化物层应用至 MTJ 的钉扎层中，一方面，通过氧化物层向 TM-RE 薄膜提供了额外的垂直磁各向异性来源，从而提升了 TM-RE 薄膜的垂直磁各向异性的退火耐受性；另一方面，由于 TM-RE 材料作为一种亚铁磁铁料，其自身的磁矩很小，从而能够减小钉扎层的漏磁场，进而减小了对自由层的偏置场 (offset)。

25 在一些可能实现的方式中，钉扎层通过 TM-RE 薄膜与参考层直接接触。在此情况下，可以直接在位于钉扎层中的 TM-RE 薄膜表面直接制作参考层。由于采用非晶态的 TM-RE 材料形成的 TM-RE 薄膜能够提升后续生长薄膜的平整度，无需考虑晶格不匹配产生的应力以及粗糙度累积，从而无需额外单独制作结构转化层来满足参考层对界面平整度的要求，同时简化了制作工艺。

30 在一些可能实现的方式中，钉扎层中包括一个 TM-RE 薄膜和一个氧化物层；TM-RE 薄膜在远离势垒层一侧的表面设置有氧化物层。

在一些可能实现的方式中，钉扎层中包括两个 TM-RE 薄膜和一个氧化物层；氧化物层位于两个 TM-RE 薄膜之间。

在一些可能实现的方式中，钉扎层中包括两个氧化物层和一个 TM-RE 薄膜；TM-RE 薄膜位于两个氧化物层之间。

本申请实施例还提供一种磁性器件的制作方法，该制作方法可以包括：制作磁性隧道结；其中，磁性隧道结包括依次堆叠设置的钉扎层、参考层、势垒层、自由层；钉扎层或自由层中的至少一个包括：过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜以及位于过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜表面的氧化物层。对制作形成的磁性隧道结进行退火处理。

5 采用本申请的磁性器件的制作方法，通过在形成钉扎层和/或自由层的过程中，制作 TM-RE 薄膜以及与 TM-RE 薄膜接触的氧化物层，从而在后续对形成的磁性隧道结进行退火处理时，通过氧化物层向 TM-RE 薄膜提供了额外的垂直磁各向异性来源，提升了 TM-RE 薄膜的垂直磁各向异性的退火耐受性，进而解决了相关技术中因 TM-RE 合金材料的垂直磁各向异性的退火耐受性较差而无法应用在 MTJ 中的问题。

10 在一些可能实现的方式中，上述制作磁性隧道结可以包括：依次制作参考层、势垒层、铁磁层、层间耦合层、过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜和氧化物层，以形成磁性隧道结；其中，依次制作的铁磁层、层间耦合层、过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜和氧化物层形成自由层。

15 在一些可能实现的方式中，上述制作磁性隧道结可以包括：依次制作氧化物层、过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜、层间耦合层、铁磁层、势垒层、参考层，以形成磁性隧道结；其中，依次制作的氧化物层、过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜、层间耦合层、铁磁层形成自由层。

20 对于上述在制作磁性隧道结的自由层（复合自由层）时采用过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜和氧化物层的两种制作方式而言：一方面，在后续对形成的磁性隧道结进行退火处理时，通过氧化物层向 TM-RE 薄膜提供了额外的垂直磁各向异性来源，从而提升了 TM-RE 薄膜的垂直磁各向异性的退火耐受性。另一方面，形成的复合自由层基于 TM-RE 薄膜能够提供体垂直磁各向异性。

25 在一些可能实现的方式中，上述制作磁性隧道结可以包括：依次制作氧化物层、过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜、参考层、势垒层、自由层，以形成磁性隧道结；其中，依次制作的氧化物层、过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜形成钉扎层。

在一些可能实现的方式中，上述制作磁性隧道结可以包括：依次制作自由层、势垒层、参考层、过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜、氧化物层，以形成磁性隧道结；其中，依次制作的过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜、氧化物层形成钉扎层。

30 对于上述在制作钉扎层时采用过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜和氧化物层的两种制作方式而言：一方面，在后续对形成的磁性隧道结进行退火处理时，通过氧化物层向 TM-RE 薄膜提供了额外的垂直磁各向异性来源，从而提升了 TM-RE 薄膜的垂直磁各向异性的退火耐受性。另一方面，由于形成的 TM-RE 薄膜采用的 TM-RE 材料为一种亚铁磁铁材料，其自身的磁矩很小，从而能够减小钉扎层的漏磁场，进而减小了对自由层的偏置场（offset）。

35 另外，由于采用非晶态的 TM-RE 材料形成的 TM-RE 薄膜能够提升后续生长薄膜的平整度，无需考虑晶格不匹配产生的应力以及粗糙度累积，因此上述在制作钉扎层采用 TM-RE 薄膜的情况下，可以直接将 TM-RE 薄膜与参考层直接接触，无需额外单独制作结构转化层来满足参考层对界面平整度的要求，同时简化了制作工艺。

本申请实施例还提供一种磁性存储器，该磁性存储器包括控制器以及如前述任一种可

能实现的方式中提供的磁性器件；磁性器件与控制器连接。

本申请实施例还提供一种电子设备，该电子设备包括印刷电路板以及如前述任一种可能实现的方式中提供的磁性存储器；磁性存储器与印刷电路板连接。

## 5 附图说明

图 1 为本申请实施例提供的一种 MTJ 的结构示意图；

图 2 为本申请实施例提供的一种 MTJ 的结构示意图；

图 3 为本申请实施例提供的一种 MTJ 的工作原理示意图；

图 4 为本申请实施例提供的一种 MTJ 器件的结构示意图；

10 图 5 为本申请实施例提供的一种 MTJ 器件的结构示意图；

图 6 为本申请实施例提供的一种 MTJ 器件的制作流程示意图；

图 7 为本申请实施例提供的三种 TM-RE 薄膜磁滞回线图；

图 8 为本申请实施例提供的一种 MTJ 器件的结构示意图；

图 9 为本申请实施例提供的一种 MTJ 器件的结构示意图；

15 图 10 为本申请实施例提供的一种 MTJ 器件的制作流程示意图；

图 11 为本申请实施例提供的一种电子设备的架构示意图；

图 12 为本申请实施例提供的一种磁性存储器中的存储单元结构示意图。

## 具体实施方式

20 为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请中的附图，对本申请中的技术方案进行清楚地描述，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

25 本申请的说明书实施例和权利要求书及附图中的术语“第一”、“第二”等仅用于区分描述的目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性，也不能理解为指示或暗示顺序。“连接”、“相连”等类似的词语，用于表达不同组件之间的互通或互相作用，可以包括直接相连或通过其他组件间接相连。此外，术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，例如，包含了一系列步骤或单元。方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元，而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。“上”、“下”、“左”、“右”等仅用于相对于附图中的部件的方位而言的，这些方向性术语是相对的概念，它们用于相对于的描述和澄清，其可以根据附图中的部件所放置的方位的变化而相应地发生变化。

30 应当理解，在本申请中，“至少一个（项）”是指一个或者多个，“多个”是指两个或两个以上。“和/或”，用于描述关联对象的关联关系，表示可以存在三种关系，例如，“A 和/或 B”可以表示：只存在 A，只存在 B 以及同时存在 A 和 B 三种情况，其中 A，B 可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。“以下至少一项（个）”或其类似表达，是指这些项中的任意组合，包括单项（个）或复数项（个）的任意组合。例如，a，b 或 c 中的至少一项（个），可以表示：a，b，c，“a 和 b”，“a 和 c”，“b 和 c”，或“a 和 b 和 c”，其中 a，b，c 可以是单个，也可以是多个。

本申请实施例提供一种电子设备,该电子设备中包括印刷电路板(printed circuit board, PCB)以及与该印刷电路板连接的磁性器件。其中,该磁性器件中设置有磁性隧道结(magnetic tunneling junction, MTJ),该磁性器件也可以称为MTJ器件或MTJ元件。

5 本申请对于上述电子设备的设置形式不做限制。例如,该电子设备可以为手机、平板电脑、笔记本、车载电脑、智能手表、智能手环等电子产品。

本申请对于上述MTJ器件的应用领域不做限制。例如,该MTJ器件可以应用至磁随机存储器(magnetic random access memory, MRAM)、磁传感器(也可以称为MTJ sensor)等领域。

10 在本申请实施例提供的MTJ器件中,通过设置MTJ的部分膜层包含过渡金属-稀土亚铁磁合金(transition metal-rare earth ferrimagnetic alloy, TM-RE)材料,也即MTJ的部分膜层包含TM-RE薄膜。并且在TM-RE薄膜至少一个表面(也即上表面和下表面中的至少一个)设置与TM-RE薄膜直接接触的氧化物层,通过氧化物层向TM-RE薄膜提供了额外的垂直磁各向异性(perpendicular magnetic anisotropy, PMA)来源,从而提升了TM-RE薄膜的垂直磁各向异性的退火耐受性,进而解决了相关技术中因TM-RE合金材料的垂直磁各向异性的退火耐受性较差而无法应用在MTJ中的问题。

15 以下结合MTJ对TM-RE薄膜和氧化物层的设置进行示意的说明。

MTJ是一种可以根据器件内部的磁性材料的状态改变自身的电阻状态的器件。如图1所示,MTJ中包括依次堆叠设置的参考层1(reference layer)、势垒层2(tunneling barrier layer;也可以称为隧穿层)、自由层3(free layer)。当然,在一些可能实现的方式中,20 如图2所示,MTJ在参考层1远离势垒层2的一侧还可以设置有钉扎层4(hard layer),以通过钉扎层4固定参考层1的磁矩。该钉扎层4可以与参考层1直接接触,也可以在钉扎层4与参考层1之间设置有其他的膜层(如结构转化层等),实际中可以根据需要进行选择设置。以下实施例均是以MTJ中设置有钉扎层4为例进行示意说明的。

参考图3所示,在MTJ中,参考层1的磁化方向不变(也即磁性不变),自由层325 的磁性随控制电流或者其他磁性翻转机制改变而改变,从而使得自由层3与参考层1磁化方向平行或者反平行。当自由层3与参考层1的磁化方向同向平行时,电流沿MTJ层垒方向(也即垂直薄膜方向)通过时的电阻较小,此时MTJ呈现低电阻(即低阻态);当自由层3与参考层1的磁化方向反向平行时,电流沿MTJ层垒方向通过时的电阻较大,此时MTJ呈现高电阻(即高阻态)。也就是说,MTJ可以在两种电阻状态(即高阻态和30 低阻态)中切换,这种性能被称作隧穿磁阻(tunneling magnetoresistance, TMR)效应。

对于MRAM而言,在MRAM的内部设置有MTJ器件以及与MTJ器件连接的控制器,MRAM利用MTJ的隧穿磁阻效应,能够通过控制器基于MTJ的高、低电阻,分别对应于信息存储中一字节二进制信息的“0”和“1”,来判断存储数据的“0”态或者“1”态,进而实现信息存储。

35 对于磁传感器而言,在磁传感器的内部设置有MTJ器件以及与MTJ器件连接的感应电路。磁传感器利用MTJ的隧穿磁阻效应,能够通过外部的磁场变化改变自由层的磁化方向,并通过感应电路读取MTJ的电阻可以推出自由层的磁化状态,进而确定外磁场的方向或大小。

此处需要说明的是,图1和图2中均是以参考层1、势垒层2、自由层3从下到上依

次堆叠设置为例进行示意说明的。在另一些实施例中，参考层 1、势垒层 2、自由层 3 可以是从上到下依次堆叠，在此情况下，钉扎层 4 则设置在参考层 1 的上方。还需要说明的是，图 3 中仅是示意的以参考层 1 的磁化方向朝上为例进行示意说明的，在另一些实施例中，参考层 1 的磁化方向也可以朝下。

5 另外，本领域的技术人员可以理解的是，基于 MTJ 器件的制作以及控制，通常需要在 MTJ 的两侧设置有其他的膜层结构，如图 4 中示出的底电极 E1、顶电极 E2、结构种子层 5 (seed layer)、覆盖层 6 (capping layer) 等等。

示意的，可以将 MTJ 的叠层结构设置在底电极 E1 和顶电极 E2 之间，能够通过底电极 E1 和顶电极 E2 向 MTJ 施加控制电信号。示意的，可以在底电极 E1 的表面先形成结构种子层 5，然后在结构种子层 5 上进行 MTJ 的制作，以为 MTJ 的制作提供较好的生长平面。示意的，可以在自由层 3 的表面设置覆盖层 6；其中，覆盖层 6 可以采用金属（如 Pt、Ta 等），也可以采用非金属氧化物（如 SiO<sub>2</sub>）的，覆盖层 6 厚度通常可以为 2nm~3nm，但并不限制于此。

在本申请实施例提供的 MTJ 器件中，可以设置 MTJ 的自由层 3 和钉扎层 4 的至少一个包含 TM-RE 薄膜，并在 TM-RE 薄膜的至少一个表面（即上表面和下表面中的至少一个）设置包含氧化物材料的氧化物层。例如，可以是 MTJ 的自由层 3 中包括 TM-RE 薄膜和氧化物层（具体可以参考下文的实施例一）。又例如，可以是 MTJ 的钉扎层 4 中包括 TM-RE 薄膜和氧化物层（具体可以参考下文的实施例二）。再例如，可以是 MTJ 的自由层 3 和钉扎层 4 中均设置有 TM-RE 薄膜和氧化物层。

20 在此情况下，在 MTJ 器件进行后道退火过程中氧化物层中的氧原子扩散进入 TM-RE 材料，氧原子的 2p 轨道与 TM-RE 材料中的过渡金属元素的 3d 轨道中含有 z 分量（即垂直 TM-RE 的方向的分量）轨道杂化，使得 TM-RE 材料的电子自旋排布取向偏向垂直薄膜方向，也即通过氧化物层向 TM-RE 薄膜提供了额外的垂直磁各向异性（perpendicular magnetic anisotropy, PMA）来源，从而提升了 TM-RE 薄膜的垂直磁各向异性的退火耐受性，进而使得 TM-RE 材料能够应用至 MTJ。

另外，由于 TM-RE 材料具有非晶态的特性，从而能够使得与之相邻生长的薄膜不会因为晶格不匹配而导致层间的应力以及由于多层结构生长导致的粗糙度的累积，这样一来，可以直接在 TM-RE 薄膜表面形成对界面平整度要求较高的其他膜层，而无需额外制作中间膜层来保证界面平整度（具体可以参考下文实施例二中的相关设置），进而提升了 MTJ 器件各膜层整体的平整度，提升了 MTJ 器件的整体性能。

30 对于上述垂直磁各向异性（PMA）而言，可以理解的是，在本申请中的垂直磁各向异性是指亚铁磁层中外层电子的自旋在空间自由度中选择取向于垂直于铁磁层的界面的方向。其中，亚铁磁层的界面可以亚铁磁层与其它层相接触的界面；例如，本申请中 TM-RE 薄膜与氧化物层相接触的界面。

35 对于上述退火耐受性而言，可以理解的是，在对 MTJ 进行后道退火工艺或者其它类型的退火工艺时，TM-RE 材料的垂直磁各向异性不发生较大改变。这种退火过后磁各向异性在一定程度上的保持能力称为退火耐受性。退火耐受性与 TM-RE 材料的元素选择，组分配比，掺杂类型等因素相关。

以下对本申请实施例中形成 TM-RE 薄膜和氧化物层的材料组分进行示意的说明。

对于 TM-RE 薄膜中采用的 TM-RE 材料而言，该 TM-RE 材料中的过渡金属元素可以包括钴 (Co)，铁 (Fe) 或镍 (Ni) 中的至少一种，但本申请并不限制于此。该 TM-RE 材料中的稀土元素可以包括铽 (Tb)，钆 (Gd)，镝 (Dy) 或铕 (Eu) 中的至少一种，但本申请并不限制于此。

5 在一些可能实现的方式中，TM-RE 材料还可以包括掺杂元素。示意的，该掺杂元素可以为钽 (Ta)，钨 (W)，硅 (Si)，硼 (B) 或碳 (C) 中的至少一种，但本申请并不限制于此。

示意的，在一些实施例中，TM-RE 薄膜采用的 TM-RE 材料可以包括钴铽 (CoTb)，铁铽 (FeTb)，钴钆 (CoGd)，钴铽硼 (CoTbB)，铁铽硼 (FeTbB) 或钴钆硼 (CoGdB)  
10 中的至少一种，但本申请并不限制于此。

需要说明的是，TM-RE 薄膜中 TM-RE 材料的各元素 (过渡金属元素、稀土元素、掺杂元素) 所占的组分配比并不限制于某一特定组分配比，实际中可以根据需要进行设置。

另外，对于氧化物层而言，形成该氧化物层的氧化物材料可以包括含镁氧化物 (如 MgO)，含铜氧化物 (如 CuO)，含铝氧化物 (如 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)，含锌氧化物 (如 ZnO)，含  
15 镍氧化物 (如 NiO)，含铬氧化物 (如 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CrO<sub>2</sub>)，含钛氧化物 (如 TiO<sub>2</sub>)，含硅氧化物 (如 SiO<sub>2</sub>) 或含硒氧化物 (如 SeO<sub>2</sub>) 中的至少一种，但本申请并不限制于此。

示意的，在一些实施例中，氧化物层采用的氧化物可以包括 MgO，SiO<sub>2</sub> 或 MgAlO<sub>3</sub> 中的至少一种，但并不限制于此。

另外，本申请中对于 MTJ 器件中氧化物层和 TM-RE 薄膜的厚度不作具体限制，实际  
20 中根据使用的具体材料和工艺流程来确定氧化物层和 TM-RE 薄膜的厚度。

以下通过具体实施例，对 TM-RE 薄膜和氧化物层在 MTJ 器件中的设置，进行示意的说明。

#### 实施例一

在该实施例提供的 MTJ 器件中，可以将 TM-RE 薄膜以及氧化物层应用至 MTJ 的自由层 3 中，在此情况下，MTJ 的自由层 3 可以采用复合自由层 (hybrid free layer, HFL)，  
25 具体设置可以如下：

如图 5 所示，自由层 3 可以包括从下到上依次堆叠设置的铁磁层 30 (ferromagnetic layer)、层间耦合层 31 (interlayer spacer 或者 coupling spacer)、TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200。其中，铁磁层 30 与势垒层 2 接触。氧化物层 200 设置在 TM-RE 薄膜 100 的  
30 的上表面 (也即远离势垒层 2 一侧的表面)。

当然，在另一些可能实现的方式中，在采用较薄的氧化物层 200 的情况下，如氧化物层 200 的厚度在 0.5nm 以下，氧化物层 200 也可以设置在 TM-RE 薄膜 100 的下表面 (也即靠近势垒层 2 一侧的表面)。以下实施例均是以氧化物层 200 设置在 TM-RE 薄膜 100 远离势垒层 2 一侧的表面为例进行说明的。

35 另外，参考图 5 所示，MTJ 器件中的其他膜层，如位于自由层 3 的下方，从下到上依次设置的底电极 E1、结构种子层 5、钉扎层 4、结构转化层 41、参考层 1、势垒层 2，以及位于自由层 3 上方的覆盖层 6、顶电极 E2 等膜层，可以参考前述内容以及相关技术，根据实际的需要进行设置，此处不再赘述。

需要说明的是，如图 5 所示，在一些实施例中，在钉扎层 4 与参考层 1 之间设置结构

转化层 41, 通过制作结构转化层 41 能够向参考层 1 提供较好的生长平面。当然, 在一些可能实现的方式中, 通过选择合适的钉扎层 4 也可以不设置结构转化层 41。

另外, 如图 6 所示, 本实施例一还提供一种如上述 MTJ 器件的制作方法, 该制作方法可以包括:

5 步骤 11、参考图 5 所示, 依次制作钉扎层 4、结构转化层 41、参考层 1、势垒层 2、铁磁层 30、层间耦合层 31、TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200, 以形成 MTJ。

上述铁磁层 30、层间耦合层 31、TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200 整体作为 MTJ 中的自由层 3 (也即复合自由层)。

10 示意的, 上述钉扎层 4 可以采用 Co/Pt (钴/铂) 多层膜、Co/Pd (钴/钯) 多层膜、Co/Ir (钴/铱) 多层膜等, 但并不限制于此。

示意的, 上述结构转化层 41 可以采用钽 (Ta), 钛 (Ti), 氮化钛 (TiN), 铝 (Al), 镁 (Mg), 钛镁 (TiMg), 钨 (W) 或钼 (Mo) 等材料中的一种或多种, 但并不限制于此。

15 示意的, 上述参考层 1 可以采用 CoFeB (钴铁硼)、FeB (铁硼)、CoFe (钴铁) 或 CoB (钴硼) 等材料中的一种或多种, 但并不限制于此。

示意的, 上述势垒层 2 可以采用 MgO, MgAlO<sub>3</sub>, AlO<sub>x</sub> (铝氧化物), MgGdO, TiO<sub>x</sub> (钛氧化物), TaO<sub>x</sub> (钽氧化物) 或 MgTiO<sub>x</sub> (镁钛氧化物) 等材料中的一种或多种, 但并不限制于此。

20 示意的, 上述铁磁层 30 可以采用 CoFeB, FeB, CoFe 或 CoB 等材料中的一种或多种, 但并不限制于此。

示意的, 上述层间耦合层 31 可以采用 Ta (钽) 或 Ru (钌) 等材料中的一种或多种, 但并不限制于此。

示意的, 上述 TM-RE 薄膜 100 可以采用 CoTb, FeTb, CoGd, CoTbB, FeTbB 或 CoGdB 等材料中的一种或多种, 但并不限制于此。

25 示意的, 上述氧化物层 200 可以采用 MgO, SiO<sub>2</sub> 或 MgAlO<sub>3</sub> 等材料中的一种或多种, 但并不限制于此。

30 当然, 参考图 5 所示, 应当理解的是, 对于整个 MTJ 器件的制作而言, 在进行步骤 11 之前, 可以在衬底上先依次形成堆叠设置的底电极 E1、结构种子层 5; 然后在结构转化层 41 的表面进行步骤 11 中钉扎层 4、结构转化层 41、参考层 1、势垒层 2、自由层 3 的制作。在步骤 11 之后可以在自由层 3 的表面继续进行其他膜层的制作, 如覆盖层 6、顶电极 E2 的制作。

以下对上述步骤 11 中自由层 3 中 TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200 的制作进行示意的说明。

示意的, 上述步骤 11 中 TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200 的制作可以包括:

35 例如, 在一些可能实现的方式中, 可以采用 TM-RE 靶材在层间耦合层 31 的表面溅射生长形成 TM-RE 薄膜 100, 然后在 TM-RE 薄膜 100 的表面溅射生长氧化物层 200 (如 MgO 层)。当然, 作为另一种可能实现的方式, 也可以采用 TM 靶材和 RE 靶材以共溅的方式在层间耦合层 31 的表面溅射生长形成 TM-RE 薄膜 100。

示意的, TM-RE 薄膜 100 可以采用常温生长, 并在将生长前底部结构在室内常温情

况下传入真空溅射腔，真空度高于  $10^{-8}$ Torr。

可以理解的是，在生长 TM-RE 薄膜 100 之前，需要保证生长前底部结构干净，粗糙度符合要求，可以利用包括但不限于化学机械抛光，离子刻蚀，超声清洗等步骤来使生长前的底部结构达到要求，不会影响该 TM-RE 薄膜 100 的生长。

5 步骤 12、对制作形成的 MTJ 进行退火处理。

示意的，在完成包含 MTJ 的器件（或部件）后，可以将形成包含 MTJ 的器件置于真空度高于  $10^{-8}$ Torr 的真空环境中进行退火；例如，退火时间可以为 1.5h，退火温度可以大于  $400^{\circ}\text{C}$ ；并在退火工艺结束将器件置于真空环境中自然冷却至室温后取出。

10 另外，可以理解的是，在溅射形成氧化物层 200 时，不同的溅射速率和厚度会直接影响氧化物层 200 的粗糙度和缺陷数量。一般而言，氧化物层 200 的粗糙度越低，TM-RE 薄膜 100 的垂直磁各向异性越好，反之 TM-RE 薄膜 100 的垂直磁各向异性越差。因此实际中，可以通过调控氧化物层 200 的氧化物种类、溅射功率、气压和厚度等参数，来调控 M-RE 薄膜 100 的垂直磁各向异性和退火后的性质。

15 本实施例中对于氧化物层 200 的种类和厚度并不限定，实验发现相同厚度下采用不同种类氧化物形成的氧化物层 200，对 TM-RE 薄膜 100 退火后的垂直磁各向异性的提升（保持）效果并不相同。例如，在氧化物层 200 的厚度相同时，采用 MgO 的氧化物层 200 要优于采用  $\text{SiO}_2$  的氧化物层 200 对 TM-RE 薄膜 100 的垂直磁各向异性的提升效果。在氧化物种类相同时，氧化物层 200 厚度越大，TM-RE 薄膜 100 退火后的垂直磁各向异性提升地越显著。

20 另外，实际中通过具体的实验对通过氧化物层 200 提升 TM-RE 薄膜 100 的垂直磁各向异性的退火耐受性进行了验证。参考图 7 所示，S0 为 TM-RE 薄膜 100 表面未设置氧化物层 200 的多膜层结构在  $400^{\circ}\text{C}$ 、1.5h 退火后的磁滞回线。S1 为 TM-RE 薄膜 100 表面设置有厚度为 0.4nm 的 MgO 层（200）的多膜层结构在  $400^{\circ}\text{C}$ 、1.5h 退火后的磁滞回线。S2 为 TM-RE 薄膜 100 表面设置有厚度为 1.0nm 的 MgO 层（200）的多膜层结构在  $400^{\circ}\text{C}$ 、  
25 1.5h 退火后的磁滞回线。

图 7 中的磁滞回线为在垂直 TM-RE 薄膜 100 的方向（也即 z 方向）施加的磁化大小（即横坐标）与霍尔电压  $V_H$ （即纵坐标）的关系曲线；本领域的技术人员可以理解的是，霍尔电压  $V_H$  越大，TM-RE 薄膜 100 的 z 方向的磁化越大。基于此，对比 S0 与 S1、S2 可以看出，相比于未设置氧化物层 200（参考 S0）而言，设置氧化物层 200 能够明显提升  
30 TM-RE 薄膜 100 的垂直磁各向异性的退火耐受性。对比 S1 和 S2 可以看出，在氧化物层 200 采用相同氧化物的情况下，氧化物层 200 的厚度越厚，TM-RE 薄膜 100 的垂直磁各向异性的退火耐受性越好。

另外，需要说明的是，上述步骤 11 中仅是示意的以依次制作参考层 1、势垒层 2、铁磁层 30、层间耦合层 31、TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200 为例进行说明。在另一些可能实现的方式中，可以通过步骤 11 依次制作氧化物层 200、TM-RE 薄膜 100、层间耦合层 31、铁磁层 30、势垒层 2、参考层 1、结构转化层 41、钉扎层 4，以形成 MTJ。在此情况下，自由层 3 位于势垒层 2 靠近底电极 E1 的一侧，而参考层 1、结构转化层 41、钉扎层 4 位于势垒层 2 的靠近顶电极 E2 一侧从下到上依次堆叠设置。  
35

综上所述，在实施例一中，通过将 TM-RE 薄膜和氧化物层应用至 MTJ 的复合自由层

中，一方面，通过氧化物层向 TM-RE 薄膜提供了额外的垂直磁各向异性来源，从而提升了 TM-RE 薄膜的垂直磁各向异性的退火耐受性；另一方面，复合自由层基于 TM-RE 薄膜能够提供体垂直磁各向异性 (b-PMA)。

#### 实施例二

5 在该实施例提供的 MTJ 器件中，可以将 TM-RE 薄膜以及氧化物层应用至 MTJ 的钉扎层 4 中。在此情况下，MTJ 的钉扎层 4 中可以设置一个或多个 TM-RE 薄膜；其中，部分或全部的 TM-RE 薄膜的至少一个表面设置有氧化物层。例如，在钉扎层 4 中，可以在至少一个 TM-RE 薄膜的上表面设置有氧化物层；也可以在至少一个 TM-RE 薄膜的下表面设置有氧化物层；还可以在至少一个 TM-RE 薄膜的下表面和下表面分别设置有氧化物层。

10 以下对钉扎层 4 中 TM-RE 薄膜和氧化物层的具体设置进行示意的说明。

例如，在一些可能实现的方式中，如图 8 所示，钉扎层 4 可以包括一个 TM-RE 薄膜 100 和一个氧化物层 200；其中，氧化物层 200 位于 TM-RE 薄膜 100 远离势垒层 2 的一侧，也即氧化物层 200 位于 TM-RE 薄膜 100 的下表面。当然，作为另一种可能实现的方式，氧化物层 200 也可以设置于 TM-RE 薄膜 100 的上表面。

15 又例如，在一些可能实现的方式中，如图 9 所示，钉扎层 4 可以包括两个 TM-RE 薄膜 100 和一个氧化物层 200；其中，氧化物层 200 可以设置在两个 TM-RE 薄膜 100 之间。

再例如，在一些可能实现的方式中，钉扎层 4 可以包括一个 TM-RE 薄膜 100 和两个氧化物层 200；其中，TM-RE 薄膜 100 可以设置在两个氧化物层 200 之间。

20 当然，钉扎层 4 中 TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200 并不限于上述的多种设置方式，示意的，在一些可能实现的方式中，钉扎层 4 中可以设置三个 TM-RE 薄膜 100，在此情况下，可以在相邻的两个 TM-RE 薄膜 100 之间分别设置一个氧化物层 200，也可以在每一 TM-RE 薄膜 100 的下表面或上表面分别设置一个氧化物层 200 等等，本申请对此不作限制，实际中可以根据需要设置钉扎层 4 中的 TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200。

25 另外，由于采用非晶态的 TM-RE 材料形成的 TM-RE 薄膜能够提升后续生长薄膜的平整度，无需考虑晶格不匹配产生的应力以及粗糙度累积，因此，在将 TM-RE 薄膜 100 应用至钉扎层 4 的情况下，如图 8 和图 9 所示，可以设置该钉扎层 4 的顶层采用 TM-RE 薄膜 100，并直接在 TM-RE 薄膜 100 的表面形成参考层 1，也即参考层 1 与钉扎层 4 顶层的 TM-RE 薄膜 100 直接接触。在此情况下，无需额外单独制作结构转化层（对应可参考图 5）来满足参考层 1 对界面平整度的要求，同时简化了制作工艺。

30 另外，本实施例二还提供一种如上述 MTJ 器件的制作方法，如图 10 所示，该制作方法可以包括：

步骤 21、参考图 8、图 9 所示，依次制作钉扎层 4、参考层 1、势垒层 2、自由层 3，以形成 MTJ；其中，钉扎层 4 中包括一个或多个 TM-RE 薄膜 100，并且在至少一个 TM-RE 薄膜 100 的表面设置有氧化物层 200。

35 示意的，参考图 8 所示，上述步骤 21 可以包括依次制作氧化物层 200、TM-RE 薄膜 100、参考层 1、势垒层 2、自由层 3，以形成 MTJ。

示意的，参考图 9 所示，上述步骤 21 可以包括依次制作 TM-RE 薄膜 100、氧化物层 200、TM-RE 薄膜 100、参考层 1、势垒层 2、自由层 3，以形成 MTJ。

应当理解的是，参考图 8、图 9 所示，对于整个 MTJ 器件的制作而言，在进行步骤

21 之前，可以在衬底上先依次形成堆叠设置的底电极 E1、结构种子层 5；然后在结构转化层 41 的表面进行步骤 21 中钉扎层 4、参考层 1、势垒层 2、自由层 3 的制作。在步骤 11 之后可以在自由层 3 的表面继续进行覆盖层 6、顶电极 E2 等其他膜层的制作。

步骤 22、对制作形成的 MTJ 进行退火处理。

5 示意的，在完成包含 MTJ 的器件（或部件）后，可以将形成包含 MTJ 的器件置于真空度高于  $10^{-8}$ Torr 的真空环境中进行退火，退火时间可以为 1.5h，退火温度可以大于 400 °C；并在退火工艺结束将器件置于真空环境中自然冷却至室温后取出。

另外，关于各膜层的具体材料、TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200 的制作工艺以及相关解释说明，可以参考前述实施例一中的相关内容此处不再赘述。

10 需要说明的是，图 8、图 9 中仅是示意的以钉扎层 4 位于势垒层 2 靠近底电极 E1 的一侧，自由层位于势垒层 2 靠近顶电极 E2 的一侧为例进行说明。在另一些可能实现的方式中，钉扎层 4 可以位于势垒层 2 靠近顶电极 E2 的一侧，自由层位于势垒层 2 靠近底电极 E1 的一侧。当然，在此情况下，可以对步骤 2 形成的各膜层的顺序进行调整；例如，  
15 在一些可能实现的方式中，可以通过步骤 21 依次制作自由层 3、势垒层 2、参考层 1、TM-RE 薄膜 100、氧化物层 200，以形成 MTJ。又例如，在一些可能实现的方式中，可以通过步骤 21 依次制作自由层 3、势垒层 2、参考层 1、TM-RE 薄膜 100、氧化物层 200、TM-RE 薄膜 100，以形成 MTJ。

综上所述，在该实施例二中，通过将 TM-RE 薄膜和氧化物层应用至 MTJ 的钉扎层中，一方面，通过氧化物层向 TM-RE 薄膜提供了额外的垂直磁各向异性来源，从而提升了  
20 TM-RE 薄膜的垂直磁各向异性的退火耐受性；另一方面，形成 TM-RE 薄膜 100 的 TM-RE 材料为一种亚铁磁材料，其自身的磁矩很小，从而能够减小钉扎层的漏磁场，进而减小了对自由层的偏置场（offset）。

另外，由于采用非晶态的 TM-RE 材料形成的 TM-RE 薄膜能够提升后续生长薄膜的平整度，无需考虑晶格不匹配产生的应力以及粗糙度累积，因此上述在制作钉扎层采用  
25 TM-RE 薄膜的情况下，可以直接将 TM-RE 薄膜与参考层直接接触，无需额外单独制作结构转化层来满足参考层对界面平整度的要求，同时简化了制作工艺。

由前述内容可知，实施例一是以 TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200 在 MTJ 的自由层 3 中的应用为例进行示意说明的。实施例二是以 TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200 在 MTJ 的钉扎层 4 中的应用为例进行示意说明的。但本申请并不限制于此，在另一些实施例中，  
30 MTJ 的自由层 3 和钉扎层 4 中均可以采用 TM-RE 薄膜 100 和氧化物层 200，具体设置可以参考前述实施例一以及实施例二的相关描述，此处不再赘述。

综上可知，本申请实施例中采用的 MTJ 器件结构和工艺都较为简单，通过在 TM-RE 薄膜 100 的表面设置氧化物层 200 即可实现对 TM-RE 薄膜 100 的垂直磁各向异性和退火特性的调控。氧化物层 200 采用常温生长即可，氧化物层 200 的厚度仅需一至数纳米即可  
35 起到显著的效果；不仅可以拓宽 MTJ 器件的集成条件，推动 MTJ 器件的发展与应用，也有助于 MTJ 器件的制备与性质的研究。

以下以本申请实施例提供的 MTJ 器件在磁性存储器中的应用为例，并结合电子设备进行说明。

示例的，图 11 为本申请实施例示例性的提供的一种电子设备的架构示意图。参考图

11 所示，在一些可能实现的方式中，该电子设备 01 可以包括：存储装置 11、处理器 12、输入设备 13、输出设备 14 等部件。存储装置 11 用于存储软件程序以及模块。存储装置 11 主要包括存储程序区和存储数据区，其中，存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序（比如声音播放功能、图像播放功能等）等；存储数据区可存储根据电

5 子设备的使用所创建的数据（比如音频数据、图像数据、电话本等）等。

上述存储装置 11 可以包括外存储器 111 和内存储器 112。外存储器 111 和内存储器 112 存储的数据可以相互传输。外存储器 111 例如包括硬盘、U 盘、软盘等。内存储器 112 例如包括随机存储器、只读存储器等，其中，随机存储器可以采用前述实施例中任一种可能实现的方式中提供的磁随机存储器（MRAM）。

10 处理器 12 是该电子设备 01 的控制中心，利用各种接口和线路连接整个电子设备 01 的各个部分，通过运行或执行存储在存储装置 11 内的软件程序和/或模块，以及调用存储在存储装置 11 内的数据，执行电子设备 01 的各种功能和处理数据，从而对电子设备 01 进行整体监控。

15 输入设备 13 用于接收输入的数字或字符信息，以及产生与电子设备 01 的用户设置以及功能控制有关的键信号输入。输出设备 14 用于输出输入设备 13 输入，并存储在内存储器 112 中的数据对应的信号。例如，输出设备 14 输出声音信号或视频信号。上述处理器 12 中的控制器还可以控制输出设备 14 输出信号或不输出信号。

应当理解的是，MRAM 是一种新型非易失性存储器，其中，MRAM 中的自旋转移距磁性随机存取存储器（spin transfer torque magnetic random access memory, STT MRAM）

20 因其具有速度快、功耗低、COMS（complementary metal-oxide-semiconductor, 互补式金属氧化物半导体）兼容性好等优势。

STT MRAM 的读写功能由内部设置的存储单元来实现。示意的，参考图 12 所示，在一些可能实现的方式中，STT MRAM 的存储单元可以包括晶体管 T 以及本申请实施例提供的任一种可能实现的方式中提供的 MTJ 器件。其中，MTJ 器件的顶电极与位线电连接，

25 MTJ 器件的底电极与晶体管 T 的漏极电连接，晶体管 T 的栅极与字线电连接，源极与源极线电连接。

以上所述，仅为本申请的具体实施方式，但本申请的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此，本申请的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

30

## 权 利 要 求 书

1. 一种磁性器件，其特征在于，包括磁性隧道结；  
所述磁性隧道结包括依次堆叠设置的钉扎层、参考层、势垒层、自由层；  
所述钉扎层或所述自由层中的至少一个包括：过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜以及位于所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜表面的氧化物层。
- 5 2. 根据权利要求1所述的磁性器件，其特征在于，所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜中包括过渡金属-稀土亚铁磁合金材料；  
所述过渡金属-稀土亚铁磁合金材料中的过渡金属元素包括 Co, Fe 或 Ni 中的至少一种；  
10 所述过渡金属-稀土亚铁磁合金材料中的稀土元素包括 Tb, Gd, Dy 或 Eu 中的至少一种。
3. 根据权利要求2所述的磁性器件，其特征在于，  
所述过渡金属-稀土亚铁磁合金材料还包括 Ta, W, Si, B 或 C 中的至少一种掺杂元素。
- 15 4. 根据权利要求1-3任一项所述的磁性器件，其特征在于，  
所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜中包括 CoTb, FeTb, CoGd, CoTbB, FeTbB 或 CoGdB 中的至少一种。
5. 根据权利要求1-4任一项所述的磁性器件，其特征在于，  
所述氧化物层中的氧化物包括含镁氧化物，含铜氧化物，含铝氧化物，含锌氧化物，  
20 含镍氧化物，含铬氧化物，含钛氧化物，含硅氧化物或含硒氧化物中的至少一种。
6. 根据权利要求1-5任一项所述的磁性器件，其特征在于，  
所述氧化物层中包括 MgO, SiO<sub>2</sub> 或 MgAlO<sub>3</sub> 中的至少一种。
7. 根据权利要求1-6任一项所述的磁性器件，其特征在于，  
所述自由层包括依次堆叠设置的铁磁层、层间耦合层、所述过渡金属-稀土亚铁磁合  
25 金薄膜和所述氧化物层；  
所述铁磁层与所述势垒层接触。
8. 根据权利要求1-6任一项所述的磁性器件，其特征在于，  
所述钉扎层中包括一个或多个所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜；其中，至少一个  
所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜在靠近和/或远离所述势垒层一侧的表面设置有所述氧  
30 化物层。
9. 根据权利要求8所述的磁性器件，其特征在于，  
所述钉扎层通过所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜与所述参考层直接接触。
10. 根据权利要求8或9所述的磁性器件，其特征在于，  
所述钉扎层中包括一个所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜和一个所述氧化物层；  
35 所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜在远离所述势垒层一侧的表面设置有所述氧化物层。
11. 根据权利要求8或9所述的磁性器件，其特征在于，  
所述钉扎层中包括两个所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜和一个所述氧化物层；

所述氧化物层位于两个所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜之间。

12. 一种磁性器件的制作方法，其特征在于，包括：

制作磁性隧道结；其中，所述磁性隧道结包括依次堆叠设置的钉扎层、参考层、势垒层、自由层；所述钉扎层或所述自由层中的至少一个包括：过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜以及位于所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜表面的氧化物层；

对制作形成的所述磁性隧道结进行退火处理。

13. 根据权利要求 12 所述的磁性器件的制作方法，其特征在于，

所述制作磁性隧道结包括：

依次制作所述参考层、所述势垒层、铁磁层、层间耦合层、所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜和所述氧化物层，以形成所述磁性隧道结；其中，依次制作的所述铁磁层、所述层间耦合层、所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜和所述氧化物层形成所述自由层；

或者，依次制作所述氧化物层、所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜、层间耦合层、铁磁层、所述势垒层、所述参考层，以形成所述磁性隧道结；其中，依次制作的所述氧化物层、所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜、所述层间耦合层、所述铁磁层形成所述自由层。

14. 根据权利要求 12 所述的磁性器件的制作方法，其特征在于，包括：

所述制作磁性隧道结包括：

依次制作所述氧化物层、所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜、所述参考层、所述势垒层、所述自由层，以形成所述磁性隧道结；其中，依次制作的所述氧化物层、所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜形成所述钉扎层；

或者，依次制作所述自由层、所述势垒层、所述参考层、所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜、所述氧化物层；其中，依次制作的所述过渡金属-稀土亚铁磁合金薄膜、所述氧化物层形成所述钉扎层。

15. 一种磁性存储器，其特征在于，包括控制器以及如权利要求 1-11 任一项所述的磁性器件；所述磁性器件与所述控制器连接。

16. 一种电子设备，其特征在于，包括印刷线路板以及如权利要求 15 所述的磁性存储器；所述磁性存储器与所述印刷线路板连接。

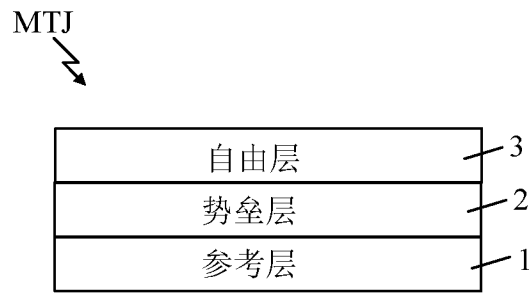


图 1

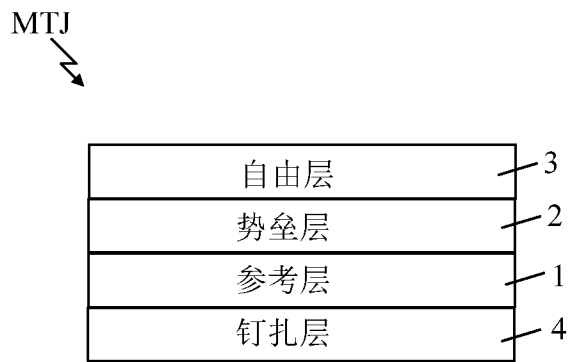


图 2

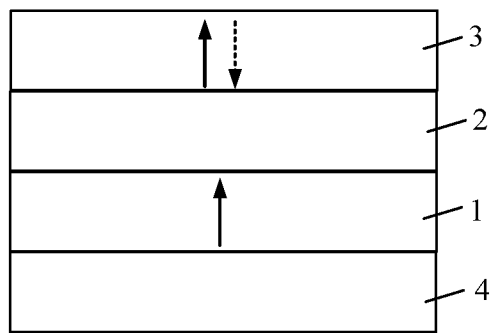


图 3

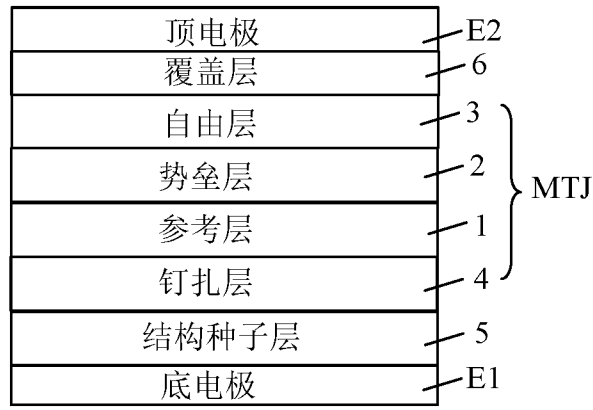


图 4

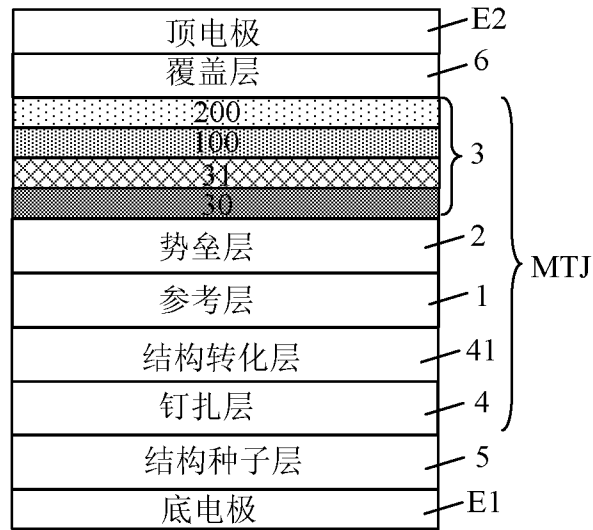


图 5

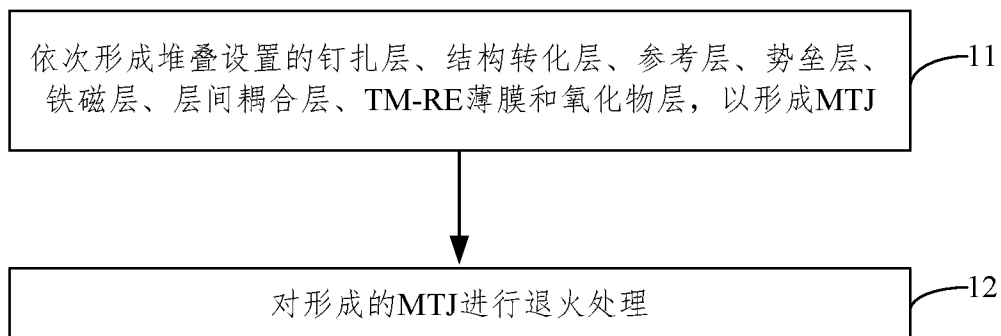


图 6

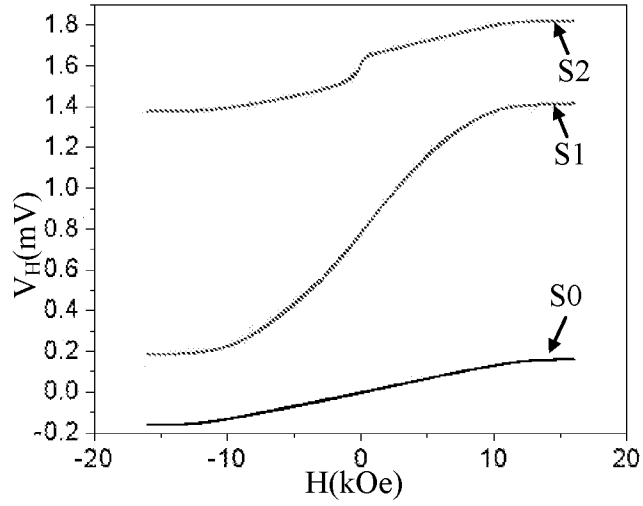


图 7

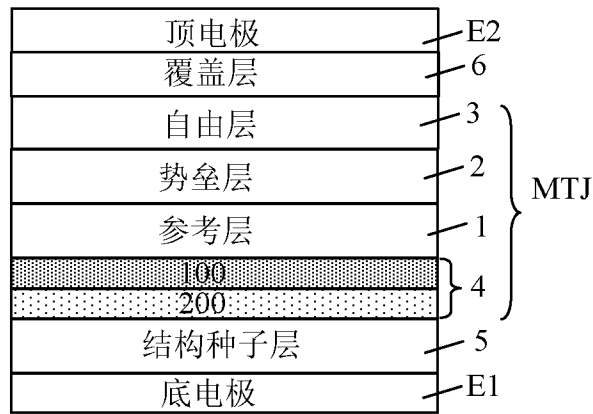


图 8

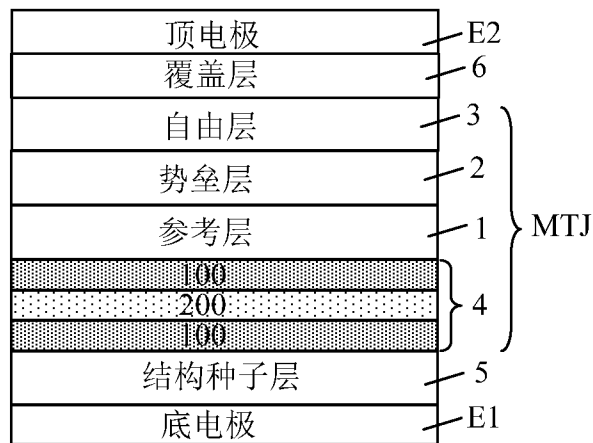


图 9

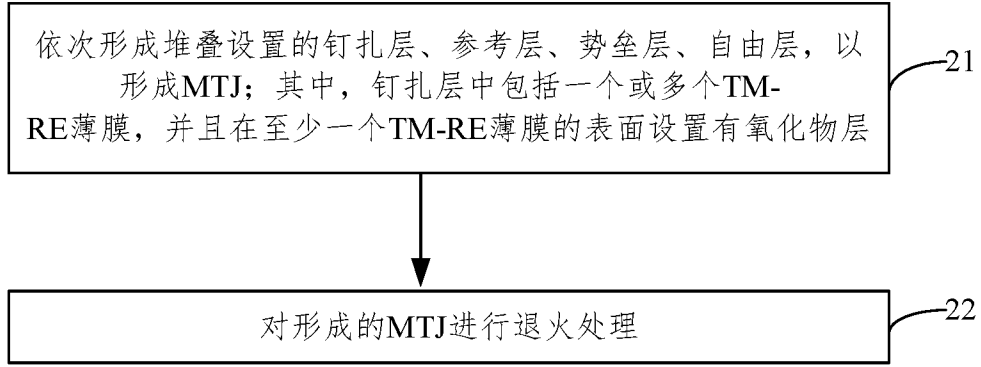


图 10

01

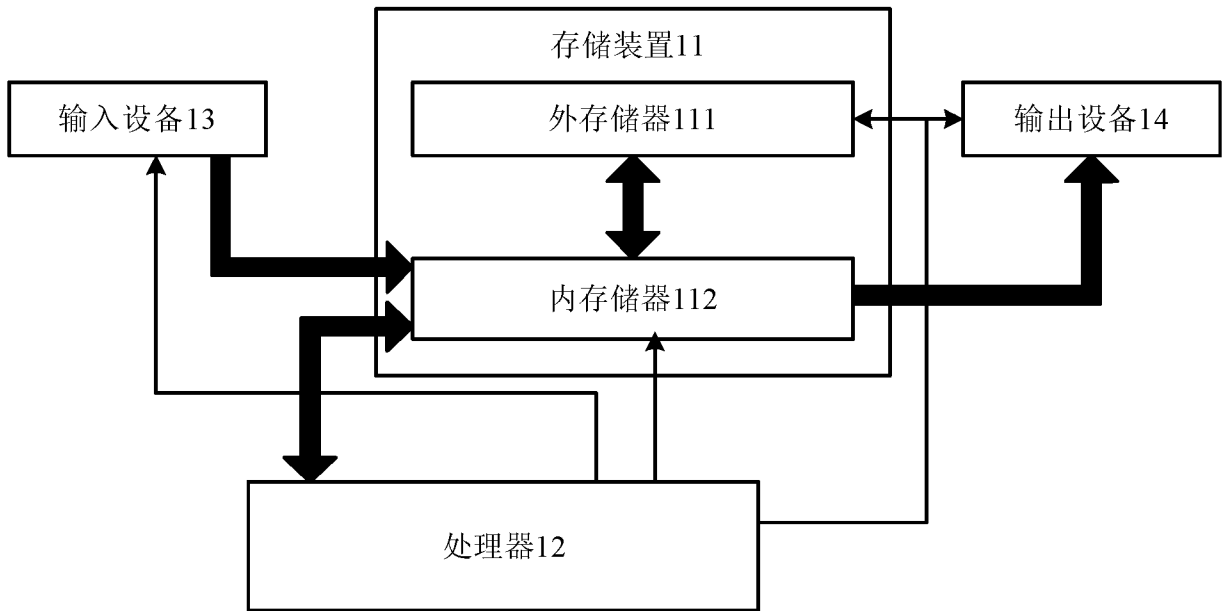


图 11

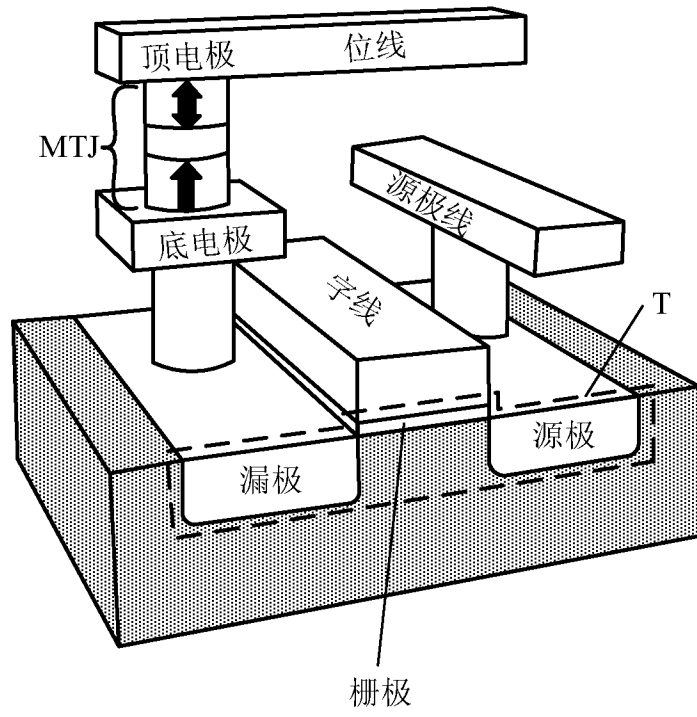


图 12

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/113579

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
H01L 27/10(2006.01)i; G11C 11/02(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L; G11C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC, IEEE: 磁, 隧道结, MTJ, 钉扎层, 自由层, 过渡金属, 稀土, 亚铁磁, TM-RE, 氧化物, magnetic, tunnel junction, pinned layer, free layer, transition metal, rare-earth, ferrimagnetic, oxide		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 108665921 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 16 October 2018 (2018-10-16) description, paragraphs [0023]-[0064], and figures 4A-6	1-5, 12, 15-16
Y	CN 108665921 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 16 October 2018 (2018-10-16) description, paragraphs [0023]-[0064], and figures 4A-6	6-11, 13-14
Y	US 2013221460 A1 (HEADWAY TECHNOLOGIES, INC.) 29 August 2013 (2013-08-29) description, paragraphs [0032]-[0043], and figure 4	6-11, 13-14
X	CN 110412081 A (CHINA THREE GORGES UNIVERSITY) 05 November 2019 (2019-11-05) description, paragraphs [0005]-[0016], and figure 2	1-6, 12
A	US 2011063899 A1 (FUJI ELECTRIC HOLDINGS CO., LTD.) 17 March 2011 (2011-03-17) entire document	1-16
A	CN 102024903 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 20 April 2011 (2011-04-20) entire document	1-16
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>05 May 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>12 May 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/CN <b>China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China</b> Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2021/113579**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)				
CN	108665921	A	16 October 2018	US	2018277517	A1	27 September 2018				
				KR	20180110267	A	10 October 2018				
				US	10388629	B	20 August 2019				
				KR	102283330	B1	02 August 2021				
US	2013221460	A1	29 August 2013	EP	2873079	A1	20 May 2015				
				WO	2014011950	A1	16 January 2014				
				US	8698260	B2	15 April 2014				
				EP	2873079	B1	04 December 2019				
CN	110412081	A	05 November 2019	None							
US	2011063899	A1	17 March 2011	WO	2009098796	A1	13 August 2009				
				JP	WO2009098796	A1	26 May 2011				
				EP	2242097	A1	20 October 2010				
				KR	20100127743	A	06 December 2010				
				US	8274820	B2	25 September 2012				
				EP	2242097	A4	12 March 2014				
				EP	2242097	B1	26 July 2017				
				JP	5057254	B2	24 October 2012				
				KR	101550080	B1	03 September 2015				
				CN	102024903	A	20 April 2011	US	2014191346	A1	10 July 2014
								US	2011062537	A1	17 March 2011
US	2013234269	A1	12 September 2013								
TW	201118870	A	01 June 2011								
DE	102010037257	A1	24 March 2011								
JP	2011061204	A	24 March 2011								
KR	20110028134	A	17 March 2011								
KR	20110035538	A	06 April 2011								
US	8445979	B2	21 May 2013								
CN	102024903	B	16 September 2015								
JP	5800480	B2	28 October 2015								
TW	1520133	B	01 February 2016								
KR	101635141	B1	08 July 2016								
KR	101635139	B1	11 July 2016								

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/113579

<p><b>A. 主题的分类</b></p> <p>H01L 27/10(2006.01)i; G11C 11/02(2006.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																							
<p><b>B. 检索领域</b></p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>H01L; G11C</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC, IEEE: 磁, 隧道结, MTJ, 钉扎层, 自由层, 过渡金属, 稀土, 亚铁磁, TM-RE, 氧化物, magnetic, tunnel junction, pinned layer, free layer, transition metal, rare-earth, ferrimagnetic, oxide</p>																							
<p><b>C. 相关文件</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 108665921 A (三星电子株式会社) 2018年10月16日 (2018 - 10 - 16) 说明书第[0023]-[0064]段, 附图4A-6</td> <td>1-5, 12, 15-16</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 108665921 A (三星电子株式会社) 2018年10月16日 (2018 - 10 - 16) 说明书第[0023]-[0064]段, 附图4A-6</td> <td>6-11, 13-14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 2013221460 A1 (HEADWAY TECHNOLOGIES, INC.) 2013年8月29日 (2013 - 08 - 29) 说明书第[0032]-[0043]段, 附图4</td> <td>6-11, 13-14</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 110412081 A (三峡大学) 2019年11月5日 (2019 - 11 - 05) 说明书第[0005]-[0016]段, 附图2</td> <td>1-6, 12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2011063899 A1 (FUJI ELECTRIC HOLDINGS CO., LTD.) 2011年3月17日 (2011 - 03 - 17) 全文</td> <td>1-16</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102024903 A (三星电子株式会社) 2011年4月20日 (2011 - 04 - 20) 全文</td> <td>1-16</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 108665921 A (三星电子株式会社) 2018年10月16日 (2018 - 10 - 16) 说明书第[0023]-[0064]段, 附图4A-6	1-5, 12, 15-16	Y	CN 108665921 A (三星电子株式会社) 2018年10月16日 (2018 - 10 - 16) 说明书第[0023]-[0064]段, 附图4A-6	6-11, 13-14	Y	US 2013221460 A1 (HEADWAY TECHNOLOGIES, INC.) 2013年8月29日 (2013 - 08 - 29) 说明书第[0032]-[0043]段, 附图4	6-11, 13-14	X	CN 110412081 A (三峡大学) 2019年11月5日 (2019 - 11 - 05) 说明书第[0005]-[0016]段, 附图2	1-6, 12	A	US 2011063899 A1 (FUJI ELECTRIC HOLDINGS CO., LTD.) 2011年3月17日 (2011 - 03 - 17) 全文	1-16	A	CN 102024903 A (三星电子株式会社) 2011年4月20日 (2011 - 04 - 20) 全文	1-16
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
X	CN 108665921 A (三星电子株式会社) 2018年10月16日 (2018 - 10 - 16) 说明书第[0023]-[0064]段, 附图4A-6	1-5, 12, 15-16																					
Y	CN 108665921 A (三星电子株式会社) 2018年10月16日 (2018 - 10 - 16) 说明书第[0023]-[0064]段, 附图4A-6	6-11, 13-14																					
Y	US 2013221460 A1 (HEADWAY TECHNOLOGIES, INC.) 2013年8月29日 (2013 - 08 - 29) 说明书第[0032]-[0043]段, 附图4	6-11, 13-14																					
X	CN 110412081 A (三峡大学) 2019年11月5日 (2019 - 11 - 05) 说明书第[0005]-[0016]段, 附图2	1-6, 12																					
A	US 2011063899 A1 (FUJI ELECTRIC HOLDINGS CO., LTD.) 2011年3月17日 (2011 - 03 - 17) 全文	1-16																					
A	CN 102024903 A (三星电子株式会社) 2011年4月20日 (2011 - 04 - 20) 全文	1-16																					
<p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型:                  “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件                  “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利                  “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)                  “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件                  “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件                  “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件                  “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性                  “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性                  “&amp;” 同族专利的文件</p>																							
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2022年5月5日</p>		<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2022年5月12日</p>																					
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>		<p>授权官员</p> <p>刘雪莲</p> <p>电话号码 (86-10)53961471</p>																					

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/113579

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)				
CN	108665921	A	2018年10月16日	US	2018277517	A1	2018年9月27日				
				KR	20180110267	A	2018年10月10日				
				US	10388629	B	2019年8月20日				
				KR	102283330	B1	2021年8月2日				
US	2013221460	A1	2013年8月29日	EP	2873079	A1	2015年5月20日				
				WO	2014011950	A1	2014年1月16日				
				US	8698260	B2	2014年4月15日				
				EP	2873079	B1	2019年12月4日				
CN	110412081	A	2019年11月5日	无							
US	2011063899	A1	2011年3月17日	WO	2009098796	A1	2009年8月13日				
				JP	W02009098796	A1	2011年5月26日				
				EP	2242097	A1	2010年10月20日				
				KR	20100127743	A	2010年12月6日				
				US	8274820	B2	2012年9月25日				
				EP	2242097	A4	2014年3月12日				
				EP	2242097	B1	2017年7月26日				
				JP	5057254	B2	2012年10月24日				
				KR	101550080	B1	2015年9月3日				
				CN	102024903	A	2011年4月20日	US	2014191346	A1	2014年7月10日
								US	2011062537	A1	2011年3月17日
US	2013234269	A1	2013年9月12日								
TW	201118870	A	2011年6月1日								
DE	102010037257	A1	2011年3月24日								
JP	2011061204	A	2011年3月24日								
KR	20110028134	A	2011年3月17日								
KR	20110035538	A	2011年4月6日								
US	8445979	B2	2013年5月21日								
CN	102024903	B	2015年9月16日								
JP	5800480	B2	2015年10月28日								
TW	1520133	B	2016年2月1日								
KR	101635141	B1	2016年7月8日								
KR	101635139	B1	2016年7月11日								