



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110061127 B

(45) 授权公告日 2023. 08. 08

(21) 申请号 201910419482.7

H10B 61/00 (2023.01)

(22) 申请日 2019.05.20

G11C 11/16 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110061127 A

(56) 对比文件

US 2005157544 A1, 2005.07.21

CN 109637569 A, 2019.04.16

CN 108538328 A, 2018.09.14

CN 103794715 A, 2014.05.14

CN 106374035 A, 2017.02.01

US 2013250669 A1, 2013.09.26

US 6114719 A, 2000.09.05

CN 109166962 A, 2019.01.08

CN 108987031 A, 2018.12.11

(43) 申请公布日 2019.07.26

(73) 专利权人 中国科学院微电子研究所

地址 100029 北京市朝阳区北土城西路3号

中国科学院微电子研究所

(72) 发明人 崔岩 罗军 杨美音 许静

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

专利代理师 钱湾湾 王宝筠

审查员 黄丽娜

(51) Int. Cl.

H10N 50/01 (2023.01)

H10N 50/10 (2023.01)

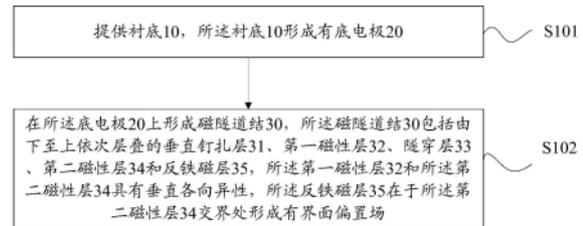
权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

磁隧道结的形成方法及磁阻式随机存储器

(57) 摘要

本申请公开一种磁隧道结的形成方法,包括提供衬底,所述衬底形成有底电极;在所述底电极上形成磁隧道结,所述磁隧道结包括由下至上依次层叠的垂直钉扎层、第一磁性层、隧穿层、第二磁性层和反铁磁层,所述第一磁性层和所述第二磁性层具有垂直各向异性,所述反铁磁层在与所述第二磁性层的交界处形成有界面偏置场,在界面偏置场和自旋霍尔效应的作用下完成磁矩翻转,实现数据写入。该写入操作依靠脉冲电压,通过隧道结的电流极小,因此功耗极低,也不会对隧道结的势垒层产生损伤,并且,脉冲时间与所施加的脉冲电压强度有关,无需精确控制脉冲时间即可实现磁矩定向翻转,减小了时钟电路的压力,增加了可靠性。本申请还公开了一种磁阻式随机存储器。



1. 一种磁隧道结的形成方法,其特征在于,包括:
提供衬底,所述衬底形成有底电极;
在所述底电极上形成磁隧道结,所述磁隧道结包括由下至上依次层叠的垂直钉扎层、第一磁性层、隧穿层、第二磁性层和反铁磁层,所述第一磁性层和所述第二磁性层具有垂直各向异性,所述反铁磁层在与所述第二磁性层交界处形成有界面偏置场;
所述磁隧道结的形状为椭圆形,所述界面偏置场的方向为沿所述椭圆形短轴的方向。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述在所述底电极上形成磁隧道结包括:
依次进行磁隧道结的各材料层的生长;
进行所述磁隧道结的各材料层的图案化,以形成所述磁隧道结。
3. 根据权利要求1至2任一项所述的方法,其特征在于,所述反铁磁层包括IrMn、PtMn和FePt中的任意一种。
4. 根据权利要求1至2任一项所述的方法,其特征在于,所述第一磁性层、所述隧穿层、所述第二磁性层和所述反铁磁层通过以下方式形成:
磁控溅射、分子束外延或者脉冲激光沉积。
5. 根据权利要求1至2任一项所述的方法,其特征在于,所述磁隧道结还包括:
所述反铁磁层上的测试电极层。
6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述磁隧道结还包括:位于所述测试电极层之上的高K介质层和顶电极。
7. 一种磁阻式随机存储器,其特征在于,包括:
衬底;
位于所述衬底之上的底电极;
位于所述底电极之上的磁隧道结,所述磁隧道结包括由下至上依次层叠的垂直钉扎层、第一磁性层、隧穿层、第二磁性层和反铁磁层,所述第一磁性层和所述第二磁性层具有垂直各向异性,所述反铁磁层在与所述第二磁性层交界处具有界面偏置场;
所述磁隧道结的形状为椭圆形,所述界面偏置场的方向为沿所述椭圆形短轴的方向。
8. 根据权利要求7所述的存储器,其特征在于,所述磁隧道结还包括:所述反铁磁层上的测试电极层。

磁隧道结的形成方法及磁阻式随机存储器

技术领域

[0001] 本申请涉及半导体领域,特别涉及一种磁隧道结的形成方法及磁阻式随机存储器。

背景技术

[0002] 随着自旋电子学的发展,一种基于磁隧道结(Magnetic Tunnel Junction,MTJ)的磁阻式随机存储器(MRAM,Magnetoresistive Random Access Memory)得到了广泛应用,其可以独立或集成与使用随机存储器的设备,如处理器、专用集成电路或片上系统中。

[0003] 目前,写入功耗大是MRAM急需解决的问题之一。MRAM的核心结构是MTJ,因此优化MTJ的结构和写入方式,是其写入功耗大的核心解决方案。目前业界主要在研发自旋轨道转矩(Spin-Orbit Torque,SOT)和电压控制磁各向异性(Voltage Control Magnetic Anisotropy,VCMA)两种更有效率的翻转磁矩方式,以解决写入功耗大的问题。

[0004] 然而,SOT-MTJ属于三端器件,不利于高密度集成,此外,对于垂直各向异性的隧道结,需要利用外加磁场才能实现定向翻转,而且碍于目前重金属材料的自旋霍尔角相对较小,翻转电流密度依然较大;传统的VCMA-MTJ通过VCMA效应实现磁矩定向翻转,需要精确地控制施加电压的时间,这对电路的时钟控制要求极高,导致传统的VCMA-MTJ的写入错误率较高,可靠性较低。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本申请提供了一种磁隧道结的形成方法,其通过在磁隧道结的第二磁性层上形成反铁磁层,基于“铁磁/反铁磁”界面产生界面偏置场以取代外加磁场,在该偏置场和自旋霍尔效应的作用下完成磁矩翻转,实现数据写入。写入操作依靠脉冲电压,通过隧道结的电流极小,因此功耗极低,也不会对隧道结的势垒层产生损伤,并且,脉冲时间与所施加的脉冲电压强度有关,无需精确控制脉冲时间即可实现磁矩定向翻转,减小了时钟电路的压力,增加了可靠性。对应地,本申请还提供了一种磁阻式随机存储器。

[0006] 本申请一方面提供了一种磁隧道结的形成方法,包括:

[0007] 提供衬底,所述衬底形成有底电极;

[0008] 在所述底电极上形成磁隧道结,所述磁隧道结包括由下至上依次层叠的垂直钉扎层、第一磁性层、隧穿层、第二磁性层和反铁磁层,所述第一磁性层和所述第二磁性层具有垂直各向异性,所述反铁磁层在与所述第二磁性层交界处形成有界面偏置场。

[0009] 可选的,所述磁隧道结的形状为椭圆形,所述界面偏置场的方向为沿所述椭圆形短轴的方向。

[0010] 可选的,所述在所述底电极上形成磁隧道结包括:

[0011] 依次进行磁隧道结的各材料层的生长;

[0012] 进行所述磁隧道结的各材料层的图案化,以形成所述磁隧道结。

[0013] 可选的,所述反铁磁层包括IrMn、PtMn和FePt中的任意一种。

[0014] 可选的,所述第一磁性层、所述隧穿层、所述第二磁性层和所述反铁磁层通过以下方式形成:

[0015] 磁控溅射、分子束外延或者脉冲激光沉积。

[0016] 可选的,所述磁隧道结还包括:

[0017] 所述反铁磁层上的测试电极层。

[0018] 可选的,所述磁隧道结还包括:位于所述测试电极层至少的高K介质层和顶电极。

[0019] 本申请一方面提供了一种磁阻式随机存储器,包括:

[0020] 衬底;

[0021] 位于所述衬底之上的底电极;

[0022] 位于所述底电极之上的磁隧道结,所述磁隧道结包括由下至上依次层叠的垂直钉扎层、第一磁性层、隧穿层、第二磁性层和反铁磁层,所述第一磁性层和所述第二磁性层具有垂直各向异性,所述反铁磁层在与所述第二磁性层交界处具有界面偏置场。

[0023] 可选的,所述磁隧道结的形状为椭圆形,所述界面偏置场的方向为沿所述椭圆形短轴的方向。

[0024] 可选的,所述反铁磁层包括IrMn、PtMn和FePt中的任意一种。

[0025] 可选的,所述磁隧道结还包括:所述反铁磁层上的测试电极层。

[0026] 可选的,所述磁隧道结还包括:位于所述测试电极层至少的高K介质层和顶电极。

[0027] 从以上技术方案可以看出,本申请实施例具有以下优点:

[0028] 本申请实施例提供了一种磁隧道结的形成方法,该方法包括提供衬底,所述衬底形成有底电极,在所述底电极上形成磁隧道结,该磁隧道结包括由下至上依次层叠的垂直钉扎层、第一磁性层、隧穿层、第二磁性层和反铁磁层,所述第一磁性层和所述第二磁性层具有垂直各向异性,所述反铁磁层在与所述第二磁性层交界处形成有界面偏置场,在界面偏置场和自旋霍尔效应的作用下完成磁矩翻转,实现数据写入。该写入操作依靠脉冲电压,通过隧道结的电流极小,因此功耗极低,也不会对隧道结的势垒层产生损伤,并且,脉冲时间与所施加的脉冲电压强度有关,无需精确控制脉冲时间即可实现磁矩定向翻转,减小了时钟电路的压力,增加了可靠性。

附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0030] 图1示出了本申请实施例提供的磁隧道结的形成方法的流程图;

[0031] 图2A至图2B示出了本申请实施例提供的磁隧道结的形成方法的一系列制程对应的结构示意图;

[0032] 图3示出了本申请实施例中磁隧道结的形状示意图;

[0033] 图4示出了本申请实施例中磁矩翻转示意图;

[0034] 图5A至图10B示出了本申请实施例中形成磁隧道结的各个步骤对应的剖视图和俯视图;

[0035] 图11示出了本申请实施例中磁阻式随机存储器的结构示意图。

具体实施方式

[0036] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0037] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明,但是本发明还可以采用其他不同于在此描述的其它方式来实施,本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似推广,因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。

[0038] 其次,本发明结合示意图进行详细描述,在详述本发明实施例时,为便于说明,表示器件结构的剖面图会不依一般比例作局部放大,而且所述示意图只是示例,其在此不应限制本发明保护的范围。此外,在实际制作中应包含长度、宽度及深度的三维空间尺寸。此外,本发明可以在不同实施例中重复参考数字和/或字母,这种重复是为了简化和清楚的目的,其本身不指示所讨论各种实施例和/或设置之间的关系。

[0039] 针对SOT-MTJ需要利用外加磁场才能实现定向翻转,且重金属材料的自旋霍尔角相对较小,翻转电流密度仍然较大,导致写入功耗大,以及VCMA-MTJ需要精确地控制施加电压的时间,对电路时钟控制要求较高,导致VCMA-MTJ写入错误率高,可靠性低的问题,本申请提供了一种磁隧道结的形成方法,其通过在磁隧道结的第二磁性层上形成反铁磁层,基于第二磁性层和反铁磁层界面特性产生界面偏置场,以取代外加磁场,在该界面偏置场和自旋霍尔效应的作用下完成磁矩翻转,实现数据写入。

[0040] 该写入操作依靠脉冲电压,隧道结的电流极小,因此,写入功耗极低,也不会对隧道结的势垒层即隧穿层产生损伤,并且脉冲时间与所施加的脉冲电压强度有关,无需精确控制脉冲时间,减小了时钟电路的压力,增加了可靠性。

[0041] 为了使得本申请的技术方案更加清楚、易于理解,下面将结合具体实施例对本申请的磁隧道结的形成方法进行介绍。

[0042] 图1是本申请实施例提供的磁隧道结的形成方法的流程图,图2A至图2B是本申请实施例提供的磁隧道结的形成方法一系列制程对应的结构示意图,参见图1和图2A至图2B,该方法包括:

[0043] S101:提供衬底10,所述衬底10形成有底电极20。

[0044] S102:在所述底电极20上形成磁隧道结30,所述磁隧道结30包括由下至上依次层叠的垂直钉扎层31、第一磁性层32、隧穿层33、第二磁性层34和反铁磁层35,所述第一磁性层32和所述第二磁性层34具有垂直各向异性,所述反铁磁层35在于所述第二磁性层34交界处形成有界面偏置场。

[0045] 在本申请实施例中,第一磁性层32和第二磁性层34由具有垂直各向异性的铁磁材料形成,铁磁材料可以为单质铁磁材料、合金铁磁材料或具有磁性的金属化合物等,例如可以为Co、Fe、Ni、CoFeB或Heusler合金等软磁材料。根据具体的需要,第一磁性层32和第二磁性层34可以为相同或不同的材料。第一磁性层32下设置有垂直钉扎层31,该垂直钉扎层的材料例如可以为 $(\text{Co}/\text{Pt})_n$ 多层膜人工反铁磁等,用以固定第一磁性层32即参考层的磁矩。

[0046] 反铁磁层35具体可以由反铁磁材料形成。在原子自旋受交换作用而呈现偶像排列的磁性材料中,相邻原子之间具有反铁磁交换相互作用,自旋为反平行排列,则磁矩虽处于

有序状态,但总的净磁矩不受外场作用时仍为零,这种磁有序状态即为反铁磁性。作为本申请的一个示例,反铁磁层35可以由IrMn、PtMn或者FePt形成,当然该反铁磁层35也可以由 α -Mn、Cr等纯金属材料形成。

[0047] 在具体实现时,第二磁性层34与反铁磁层35交界处形成一种“铁磁/反铁磁”界面,基于该“铁磁/反铁磁”界面产生界面偏置场,其可以取代外加磁场。磁隧道结在上述界面偏置场和自旋霍尔效应的作用下完成磁矩翻转,实现数据写入。

[0048] 进一步地,在形成磁隧道结30时,可以通过图案化的方式使其为椭圆形。该磁隧道结30中的反铁磁层35在与所述第二磁性层34交界处形成的界面偏置场的方向为沿所述椭圆形短轴的方向。如图3所示,其示出了磁隧道结的形状,在该示例中,磁隧道结为椭圆形形状,其面内各向异性轴沿椭圆长轴,如图3中的x轴,当对隧道结施加大于正向临界电压 V_c 的电压,时间足够长时,第二磁性层34的磁矩方向将由垂直平面的方向翻转至长轴方向。其中,正向临界电压是指垂直各向异性消失时的电压。

[0049] 反铁磁层35如IrMn层在与所述第二磁性层34交界处形成的界面偏置场方向沿椭圆的短轴方向,如图3中的y轴。当外加电压撤掉后,第二磁性层34的易磁化轴恢复为垂直方向,由于界面偏置场的存在,破坏了时间反演对称性,因此第二磁性层34的磁矩会确定性地翻转至与易磁化轴相同或相反的方向上。

[0050] 下面结合一具体示例进行说明。

[0051] 参见图4所示的磁矩翻转示意图,假设初始时,磁隧道结30中第二磁性层34如CoFeB(简称CFB)的磁矩方向沿z轴正向,在t时刻施加电压V,其中, $V \geq V_c$,使CFB的垂直各向异性消失,此时,CFB受到退磁化能和IrMn偏置场(假设沿正y方向,其可通过生长IrMn层时施加正y方向的外磁场退火实现)的共同作用,由于退磁化能的等效磁场大于偏置场,因此CFB磁矩的平衡位置将沿x轴,而正y方向的IrMn偏置场打破了x轴的时间反演对称性,所以经过一段时间后,CFB的磁矩方向将定向翻转至-x方向,时间长短与所施加电压大小有关,电压越小时间越短。此时,将外加电压撤掉,CFB的垂直各向异性恢复,同样,在正y方向的偏置场和z方向垂直各向异性场的作用下,磁矩将定向翻转至-z方向。因此,通过此操作,使CFB的磁矩由+z方向翻转至-z方向。反之亦然。

[0052] 在一些可能的实现方式中,磁隧道结30还可以包括位于所述反铁磁层35之上的测试电极层,该测试电极层用于测试磁隧道结的磁电阻。在实际应用时,测试电极层可以采用金属材料形成,作为一个示例,可以采用Ru。

[0053] 进一步地,还可以在测试电极层上设置高K介质层和顶电极,其中,高K介质层用于对反铁磁层35进行保护,顶电极和底电极用于共同作用,从而为所述磁隧道结提供电压。

[0054] 由上可知,本申请实施例提供了一种磁隧道结的形成方法,该方法包括提供衬底,所述衬底形成有底电极,在所述底电极上形成磁隧道结,该磁隧道结包括由下至上依次层叠的垂直钉扎层、第一磁性层、隧穿层、第二磁性层和反铁磁层,所述第一磁性层和所述第二磁性层具有垂直各向异性,所述反铁磁层在与所述第二磁性层交界处形成有界面偏置场,在界面偏置场和自旋霍尔效应的作用下完成磁矩翻转,实现数据写入。该写入操作依靠脉冲电压,通过隧道结的电流极小,因此功耗极低,也不会对隧道结的势垒层产生损伤,并且,脉冲时间与所施加的脉冲电压强度有关,无需精确控制脉冲时间即可实现磁矩定向翻转,减小了时钟电路的压力,增加了可靠性。

[0055] 针对上述S102,本申请还提供了一种具体实现方式。具体地,依次进行磁隧道结的各材料层的生长;进行所述磁隧道结的各材料层的图案化,以形成所述磁隧道结。

[0056] 为了便于理解,下面结合附图对S102的具体实现过程进行详细说明。其中,S102具体可以通过如下步骤实现:

[0057] 第一步:沉积底电极、磁隧道结MTJ和反铁磁层。

[0058] 在该示例中,底电极可以是Au,MTJ可以包括CFB/MgO/CFB三层结构,反铁磁层可以是IrMn、PtMn或者FePt中任意一种,图5A和图5B分别示出了该步骤的剖面示意图和俯视图。

[0059] 第二步:光刻磁隧道结的底电极和结区。

[0060] 在具体实现时,可以通过光刻方式对磁隧道结进行图案化,图6A和图6B分别示出了该步骤的剖面示意图和俯视图。

[0061] 第三步:填充绝缘介质并进行测试电极沉积和图案化。

[0062] 具体地,在光刻底电极和结区后,可以填充SiO₂进行隔离保护,其中,该绝缘介质SiO₂与IrMn平齐;然后,再进行测试电极沉积,并通过光刻方式进行图案化,其中,测试电极可以采用Ru形成,Ru层至少覆盖IrMn。图7A和图7B分别示出了该步骤的剖面示意图和俯视图。

[0063] 第四步:高K介质层沉积及图案化。

[0064] 在形成测试电极后,还需要形成高K介质层,该高K介质层具体可以是MgO、Al₂O₃或者HfO₂等等。在该示例中,采用MgO形成高K介质层,图8A和图8B分别示出了该步骤的剖面示意图和俯视图。

[0065] 第五步:填充绝缘介质,并开孔。

[0066] 与第三步中填充绝缘介质类似,填充SiO₂与MgO平齐。然后,通过蚀刻的方式对SiO₂进行开孔,如图9A和图9B所示。

[0067] 第六步:顶电极沉积及图形化。

[0068] 在本实施例中,顶电极可以采用Au形成,具体地,先填充Au,然后对Au进行光刻,形成如图10A和图10B所示的图案,如图10B所示,在Vcc和GND之间加载电压,提供VCMA脉冲电压,Vread和GND之间提供测试电压,用于测量MTJ的磁电阻。

[0069] 其中,在形成磁隧道结的第一磁性层、所述隧穿层、所述第二磁性层和所述反铁磁层等膜层时,可以通过磁控溅射、分子束外延或者脉冲激光沉积中的任意一种方式形成。

[0070] 以上对本申请实施例提供的磁隧道结的形成方法进行了详细的描述,此外,本申请还提供了由上述形成方法形成的磁阻式随机存储器,参考图11所示,该磁阻式随机存储器包括:

[0071] 衬底1101;

[0072] 位于所述衬底之上的底电极1102;

[0073] 位于所述底电极1102之上的磁隧道结1103,所述磁隧道结1103包括由下至上依次层叠的垂直钉扎层1104、第一磁性层1105、隧穿层1106、第二磁性层1107和反铁磁层1108,所述第一磁性层1105和所述第二磁性层1107具有垂直各向异性,所述反铁磁层1108在于所述第二磁性层1107交界处具有界面偏置场。

[0074] 可选的,所述磁隧道结1103的形状为椭圆形,所述界面偏置场的方向为沿所述椭圆形短轴的方向。

[0075] 可选的,所述反铁磁层1108包括IrMn、PtMn或者FePt。

[0076] 可选的,所述磁隧道结1103还包括:所述反铁磁层1108上的测试电极层1109。

[0077] 具体地,在所述测试电极层1109上还包括高K介质层1110,在所述高K介质层上形成有顶电极1111,底电极1102和顶电极1111之间加载有VCMA电压,用于实现磁矩翻转,底电极1102和测试电极层1109之间加载有磁隧道结性能测试电压,用于测量磁隧道结的磁电阻。

[0078] 在具体的应用中,上述的MRAM可以以阵列形式排布,形成MRAM的存储阵列,该存储阵列可以独立或集成于使用MRAM存储阵列的设备中,设备例如处理器、专用集成电路或片上系统等。

[0079] 本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于器件结构的实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述得比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

[0080] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,虽然本发明已以较佳实施例披露如上,然而并非用以限定本发明。任何熟悉本领域的技术人员,在不脱离本发明技术方案范围情况下,都可利用上述揭示的方法和技术内容对本发明技术方案做出许多可能的变动和修饰,或修改为等同变化的等效实施例。因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何的简单修改、等同变化及修饰,均仍属于本发明技术方案保护的范围内。

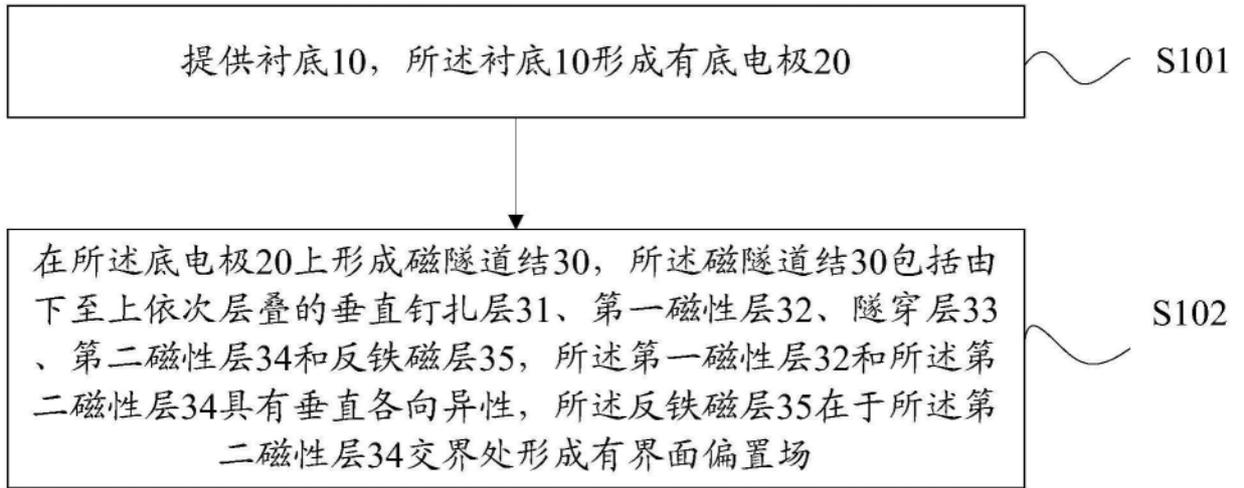


图1



图2A

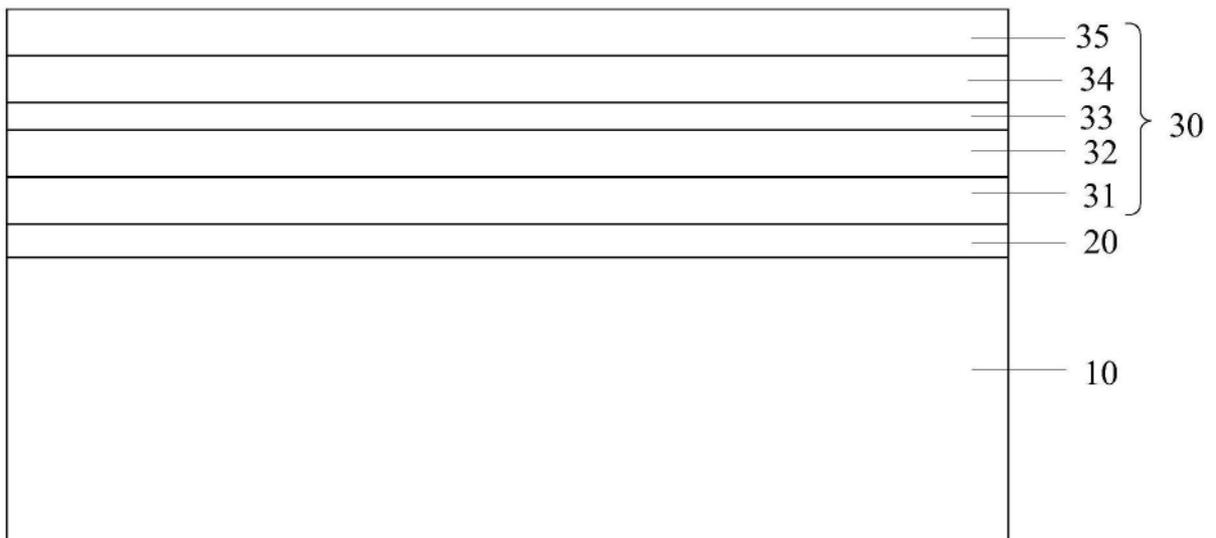


图2B

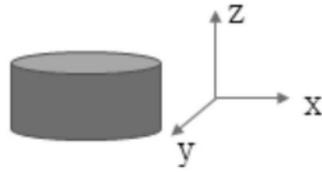


图3

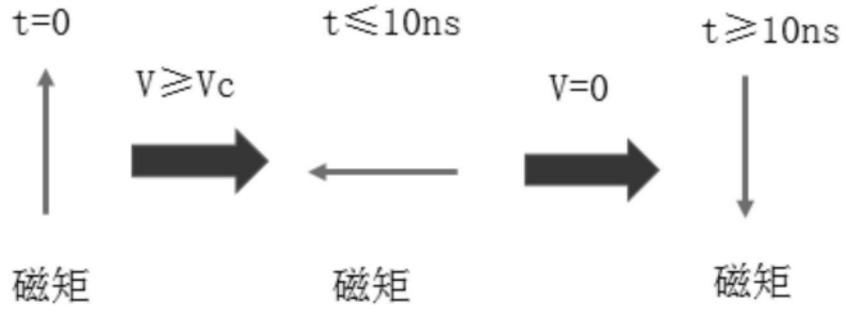


图4

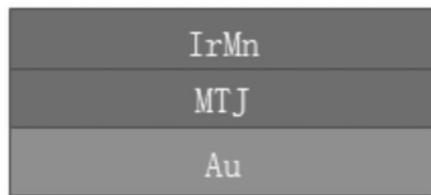


图5A



图5B



图6A



图6B



图7A

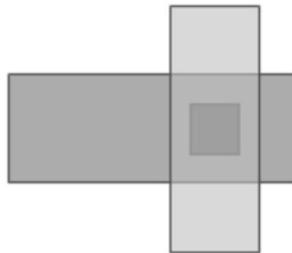


图7B

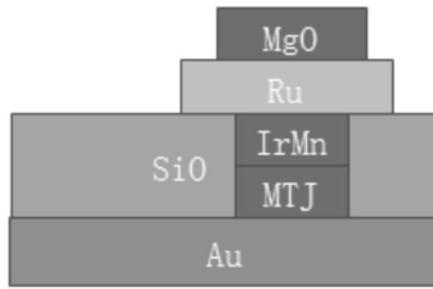


图8A

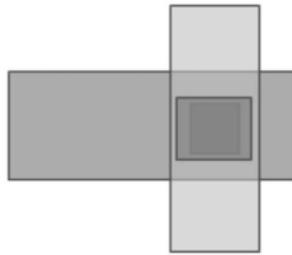


图8B

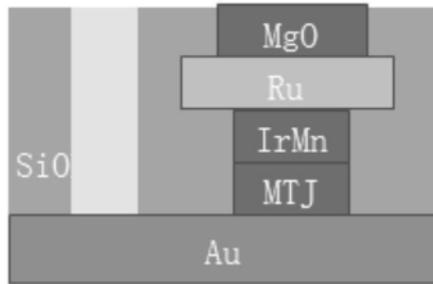


图9A

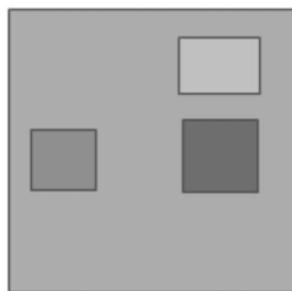


图9B

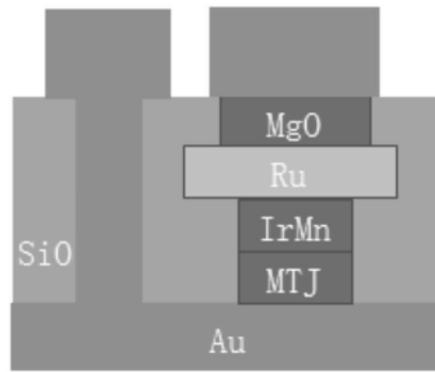


图10A

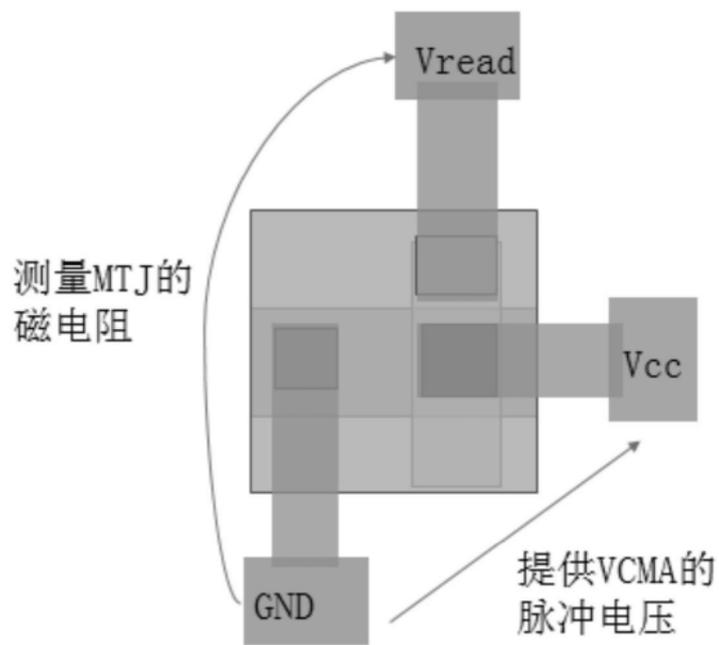


图10B

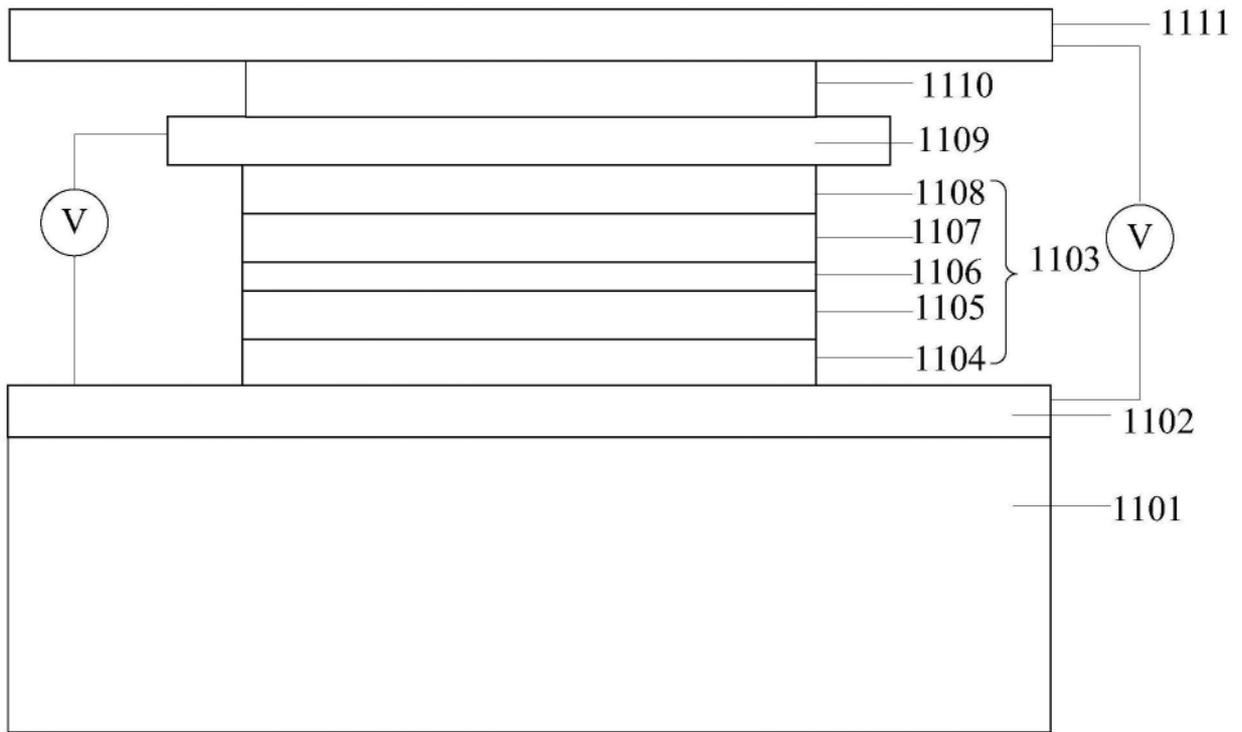


图11