



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105197870 B

(45)授权公告日 2017.03.22

(21)申请号 201510639455.2

B82Y 40/00(2011.01)

(22)申请日 2015.09.30

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105197870 A

CN 205061552 U, 2016.03.02, 权利要求1-9.

(43)申请公布日 2015.12.30

CN 1498416 A, 2004.05.19, 全文.

(73)专利权人 西交利物浦大学

地址 215123 江苏省苏州市工业园区独墅湖高等教育区仁爱路111号

CN 101322299 A, 2008.12.10, 全文.

CN 101710744 A, 2010.05.19, 全文.

CN 104584416 A, 2015.04.29, 全文.

US 2005017598 A1, 2005.01.27, 全文.

JP 2006345638 A, 2006.12.21, 全文.

(72)发明人 于昊

审查员 薛蕾

(74)专利代理机构 苏州创元专利商标事务所有  
限公司 32103

代理人 范晴

(51)Int.Cl.

B81B 5/00(2006.01)

B81C 1/00(2006.01)

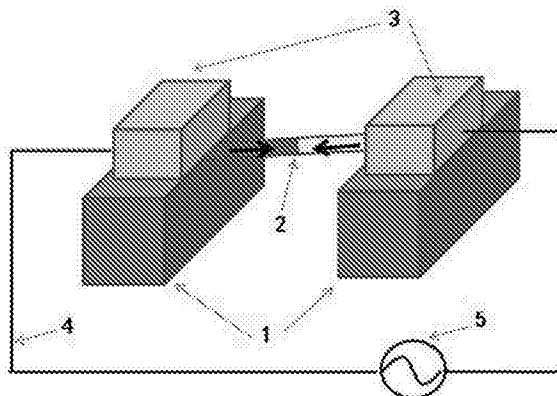
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达及其制作方法

(57)摘要

本发明公开了一种自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达及其制作方法,其中马达结构包括:其上制有沟槽的硅基衬底,架设在所述沟槽上方、且其两端通过金属电极固定在所述硅基衬底上的磁性金属纳米线,以及通过导线与所述金属电极相连的电源。该马达制作工艺简单可行,结构性能稳定,容易与现有的微电子器件集成,克服了现有技术中采用生物学或化学方法制作的亚微米/纳米马达结构性能不稳定并且很难与现有微电子器件集成的问题。



1. 一种自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,其特征在于它包括:  
其上制有沟槽的硅基衬底(1),  
架设在所述沟槽上方、且其两端固定在所述硅基衬底(1)上的磁性金属纳米线(2),并且所述磁性金属纳米线(2)的两端分别连接一金属电极(3),  
以及  
通过导线(4)与两个所述金属电极相连的电源(5)。
2. 根据权利要求1所述的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,其特征在于:所述硅基衬底(1)为单晶硅基衬底。
3. 根据权利要求1所述的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,其特征在于:采用光刻-腐蚀技术在所述硅基衬底(1)上形成所述沟槽。
4. 根据权利要求1所述的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,其特征在于:所述金属电极(3)淀积于所述硅基衬底(1)上。
5. 根据权利要求4所述的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,其特征在于:所述磁性金属纳米线(2)的两端是通过淀积于所述硅基衬底(1)上的所述金属电极(3)固定在所述硅基衬底(1)上的。
6. 根据权利要求1所述的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,其特征在于:所述磁性金属纳米线(2)为材质为铁、钴、镍、铁-钴合金、铁-镍合金、钴-镍合金或铁-钴-镍合金。
7. 根据权利要求1所述的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,其特征在于:所述磁性金属纳米线(2)的直径为20~100纳米,长度为1~10微米。
8. 根据权利要求1所述的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,其特征在于:所述金属电极的材质为金或银。
9. 根据权利要求1所述的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,其特征在于:所述电源为交流电源或直流电源。
10. 一种如权利要求1~9之一所述的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达的制作方法,其特征在于该方法包括以下步骤:  
步骤一、在硅基衬底(1)上采用光刻-腐蚀技术制得沟槽;  
步骤二、将一段磁性金属纳米线(2)置于所述沟槽之上;  
步骤三、在所述硅基衬底(1)上、于所述磁性金属纳米线(2)两端位置分别淀积两个金属电极(3),从而将磁性金属纳米线(2)的两端固定在硅基衬底(1)上、而磁性金属纳米线(2)的中部悬空架设在沟槽之上,形成悬臂结构;  
步骤四、将所述两个金属电极(3)用导线(4)引出,连接电源(5)。

## 自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达及其制作方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达及其制作方法。

### 背景技术

[0002] 亚微米或纳米尺度的机械与马达在未来微机电系统(MEMS, Micro-Electro-Mechanical System)中有重要应用。传统的光刻技术与硅微加工制备的驱动机械往往是在10到100微米尺度。而小于1微米的纳米尺度的驱动马达则停留在实验室研究阶段,并且多采用生物学或者化学的方法,例如利用ATP合成酶驱动发动机运转。这些纳米“发动机”尺寸很小,但是由于是生物化学方面的驱动力,因此不稳定并且很难与现有的微电子器件集成。

[0003] 本发明利用简单的极化(磁化)电流,通过架在在传统的微米光刻电极上的磁性纳米线,产生扭矩,从而驱动纳米线转动成为一个马达机械。

[0004] 发明的原理和理论依据发展如下。1915年,爱因斯坦与德哈斯在实验中发现,悬挂的铁棒在被磁化的过程中会产生一个扭转[1]。这一效应被称为爱因斯坦-德哈斯效应,是基于角动量守恒的原理:即磁化会改变体系(电子自旋)的角动量,而铁棒会产生一个反向的机械旋转,以抵消体系总角动量的变化。不久,巴内特发现了其反效应[2],即机械转动也可以磁化铁棒。在介观尺度上,爱因斯坦-德哈斯效应也可以实现。例如,Wallis等人在亚微米镍铁薄膜覆盖的悬臂梁上实现了爱因斯坦-德哈斯效应产生的机械扭转[3]

[0005] 2004年,Mohanty等人通过理论计算预言了,自旋极化电流经过纳米尺度的铁磁/非磁金属界面时,由于角动量的改变,会使得悬空的梁结构产生机械扭转以保持角动量守恒;并可照此设计一个器件来定量检测自旋流[4]。2005年,Mal'shukov等人理论研究发现[5],在半导体中(即不存在任何磁性金属的情形),由于应力引起的自旋轨道作用会使得自旋流与机械扭转相耦合,据估计,其效应比金属界面可能高两个数量级;该效应可被用来作为自旋流的产生装置或自旋流的灵敏探测装置。

[0006] Kovaliev等人研究了在磁纳米结构中电流驱动的铁磁共振和机械力矩的关系,并提出了一个自旋压电效应的概念(Piezospin)[6],即类似于压电效应中应力与电压的耦合,现在应力也可以与自旋相耦合。

[0007] 申请人计算发现[7],由于STT(spin transfer torque)器件的截面积一般都远小于传统的TMR和GMR器件,而转动角与截面积成反比;因此在小尺度下,力学转动效应将更加可观。

[0008] 参考文献:

[0009] [1]A.Einstein and W.J.de Haas,Verh.Dtsch.Phys.Ges.17,152(1915).

[0010] [2]T.M.Wallis,J.Moreland,and P.Kabos,Appl.Phys.Lett.89,122502(2006).

[0011] [3]P.Mohanty,G.Zolfagharkhani,S.Kettemann,and P.Fulde Phys.Rev.B 70,195301(2004).

[0012] [4]A.G.Mal'shukov,C.S.Tang,C.S.Chu,and K.A.Chao,Phys.Rev.Lett.,95,107203(2005).

- [0013] [5]A.A.Kovalev,G.E.W.Bauer,and A.Brataas,Phys.Rev.B 75,014430(2007).  
[0014] [6]A.A.Kovalev,L.P.Zarbo,Y.Tserkovnyak,G.E.W.Bauer,and J.Sinova,Phys.Rev.Lett.,101,036401(2008).  
[0015] [7]H.Yu,arXiv:1202.4218v1[cond-mat.mtrl-sci].

## 发明内容

[0016] 本发明目的是:基于上述理论基础,本发明提供一种易于制作的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,同时本发明还提供该马达的制作方法,该马达结构和性能稳定,容易与现有的微电子器件集成,克服了现有技术中采用生物学或化学方法制作的亚微米/纳米马达结构性能不稳定并且很难与现有微电子器件集成的问题。

[0017] 本发明的技术方案是:一种自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达,包括:

[0018] 其上制有沟槽的硅基衬底,

[0019] 架设在所述沟槽上方、且其两端固定在所述硅基衬底上的磁性金属纳米线,并且所述磁性金属纳米线的两端连接有分别连接一金属电极,

[0020] 以及

[0021] 通过导线与所述两金属电极相连的电源。

[0022] 本发明这种自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达在上述技术方案的基础上,还包括以下优选方案:

[0023] 所述硅基衬底为单晶硅片衬底。

[0024] 采用光刻-腐蚀技术在所述硅基衬底上形成所述沟槽。

[0025] 所述金属电极淀积于所述硅基衬底上。

[0026] 所述磁性金属纳米线的两端是通过淀积于所述硅基衬底上的所述金属电极固定在所述硅基衬底上的。

[0027] 所述磁性金属纳米线为材质为铁、钴、镍、铁-钴合金、铁-镍合金、钴-镍合金或铁-钴-镍合金。

[0028] 所述磁性金属纳米线的直径为20~100纳米,长度为1~10微米。

[0029] 所述金属电极的材质为金或银。

[0030] 所述电源为可以是交流电源,也可以是直流电源。在直流电驱动下,磁性金属纳米线将产生一个固定角度的转动和扭矩。在交流电的驱动下,磁性金属纳米线将产生与外加交流电频率一致的周期性振动。

[0031] 一种自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达的制作方法,包括以下步骤:

[0032] 步骤一、在硅基衬底上采用光刻-腐蚀技术制得沟槽;

[0033] 步骤二、将一段磁性金属纳米线置于所述沟槽之上;

[0034] 步骤三、在所述硅基衬底上、于所述磁性金属纳米线两端位置分别淀积两个金属电极,从而将磁性金属纳米线的两端固定在硅基衬底上、而磁性金属纳米线的中部悬空架设于沟槽之上,形成悬臂结构;

[0035] 步骤四、将所述两个金属电极用导线引出,连接电源。

[0036] 本发明的优点是:本发明这种自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达结构简单是小于1微米的纳米尺度的驱动马达,其结构简单且易于制作,并且结构和性能非常稳定,容

易与现有的微电子器件集成。

### 附图说明

[0037] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,下面描述中的附图仅仅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。

[0038] 图1为本发明自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达的一般结构示意图。

[0039] 图2为本发明实施例所制得的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达的扫描电子显微镜图片。

[0040] 其中:1-硅基衬底,2-磁性金属纳米线,3-金属电极,4-导线,5-电源。

### 具体实施方式

[0041] 以下结合具体实施例对上述方案做进一步说明。应理解,这些实施例是用于说明本发明而并不限于限制本发明的范围。实施例中采用的实施条件可以根据具体厂家的条件做进一步调整,未注明的实施条件通常为常规实验中的条件。

[0042] 实施例:自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达的制作

[0043] 步骤一、在单晶硅片衬底上采用标准的光刻-腐蚀技术,制得宽度为2微米的条带状沟槽;

[0044] 步骤二、将一段长度为7微米、直径为50纳米的金属钴纳米线置于所述沟槽之上;

[0045] 步骤三、在所述硅基衬底上、于所述金属钴纳米线两端位置分别淀积两个金电极。从而将金属钴纳米线的两端固定在硅基衬底上,而金属钴纳米线的中部主线段则悬空驾驶在沟槽之上,形成悬臂结构;

[0046] 步骤四、将所述两个金电极用导线引出,连接交流电源,便制成了本发明所说的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达。图2为本实施例所制得的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达的扫描电子显微镜图片。

[0047] 我们还对制得的自旋极化电流驱动的亚微米/纳米马达进行了测试,具体如下:

[0048] 利用所述交流电源对两端电极施加交流电。电压为2伏,测得电流为1微安。交流电频率在1KHZ至100KHZ。我们发现金属钴纳米线在交流电驱动下发生与驱动电流同频的受迫扭转振动。计算估计共振频率将在MHZ数量级,申请人实验室电流装置无法达到共振频率。若在共振频率下,纳米线的振动幅度将达到最大。

[0049] 上述实施例只为说明本发明的技术构思及特点,其目的在于让人们能够了解本发明的内容并据以实施,并不能以此限制本发明的保护范围以上在具体实施例时。一般情况下,硅基衬底既可以选用单晶硅片衬底,也可以选择多晶硅片衬底。磁性金属纳米线2的为材质最好为铁、钴、镍、铁-钴合金、铁-镍合金、钴-镍合金或铁-钴-镍合金,或者商业坡莫合金材料等。磁性金属纳米线2的直径优选为20~100纳米,长度优选为1~10微米。沟槽的形状优选为条带状,其宽度一般为1~10微米,具体根据磁性金属纳米线2的长度设定。所述金属电极优选为金电极或银电极。电源可以是交流电源,也可以是直流电源。在直流电驱动下,磁性金属纳米线将产生一个固定角度的转动和扭矩。在交流电的驱动下,磁性金属纳米线将产生与外加交流电频率一致的周期性振动。图1为本发明自旋极化电流驱动的亚微米/

纳米马达的一般结构示意图。

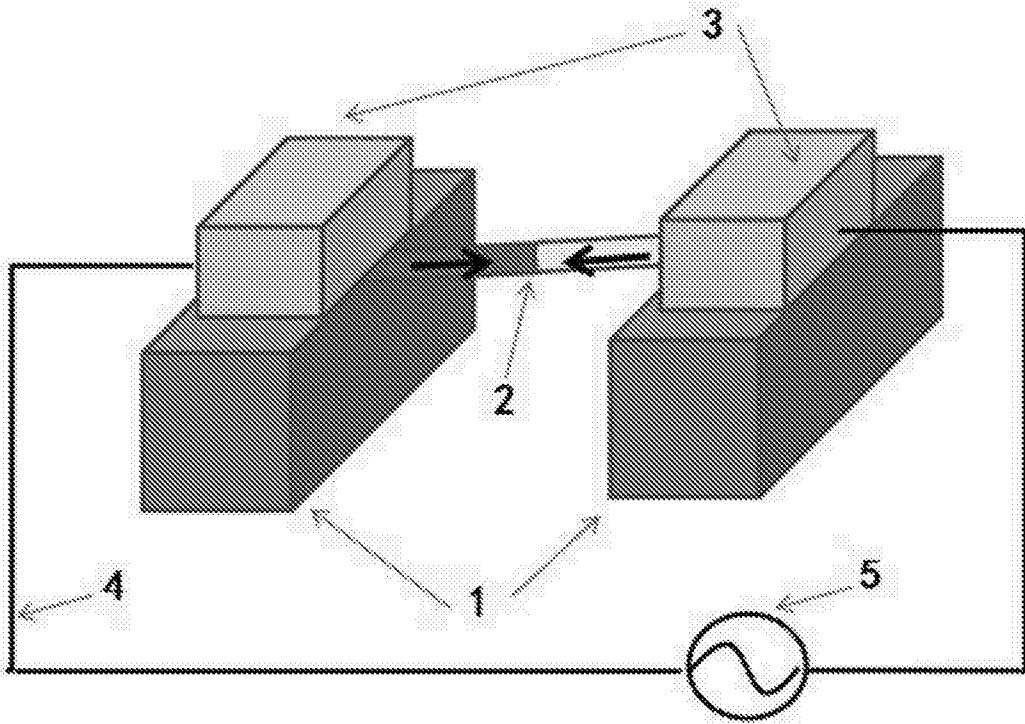


图1

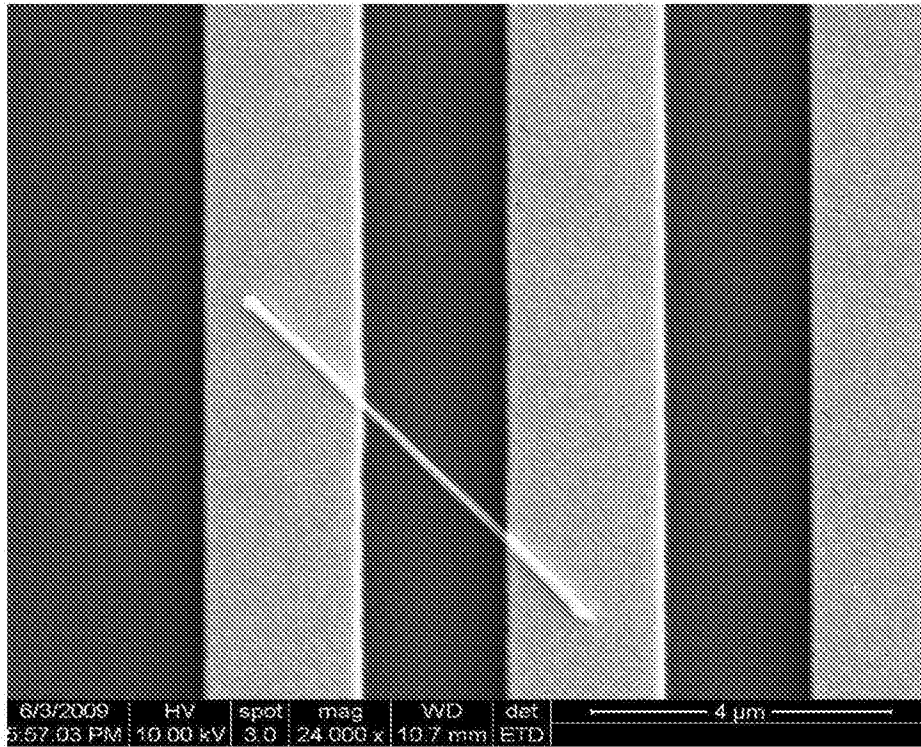


图2