



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110350284 A

(43)申请公布日 2019.10.18

(21)申请号 201910510754.4

(22)申请日 2019.06.13

(71)申请人 武汉科技大学

地址 430081 湖北省武汉市青山区和平大道947号

(72)发明人 卢志红 袁晓娟

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 42222

代理人 吴楚

(51) Int. Cl.

H01P 7/00(2006.01)

B81B 1/00(2006.01)

H03B 28/00(2006.01)

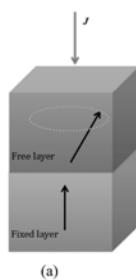
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

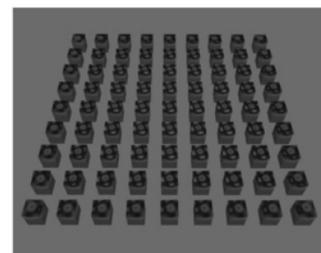
一种具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器

(57)摘要

本发明公开了一种具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器,由叠加的固定层与自由层组成;所述固定层的磁矩方向与纳米柱所在平面垂直,自由层的磁矩方向与纳米柱所在平面平行,直流电流垂直于纳米柱的平面且经过自由层流经固定层。本发明提出了一种新型的纳米柱振荡器结构,通过固定层与自由层的相互作用,在直流电流下驱使自由层的磁矩振荡。从而简化了传统的STNO的三层结构,省略了隔离层,可以大大简化工艺制造流程。同时该模型可以轻松实现多个纳米柱之间的耦合振荡,提高纳米柱振荡器的振幅。



(a)



(b)

1. 一种具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器,其特征在于:由叠加的固定层与自由层组成;所述固定层的磁矩方向与纳米柱所在平面垂直,自由层的磁矩方向与纳米柱所在平面平行,直流电流垂直于纳米柱的平面且经过自由层流经固定层。

2. 如权利要求1所述的自旋转移矩纳米柱振荡器,其特征在于:固定层材料为垂直磁各向异性可以达到 $10^6\text{J}/\text{m}^3$ 量级的硬磁性材料,自由层的材料为软磁性材料。

3. 如权利要求1所述的自旋转移矩纳米柱振荡器,其特征在于:所述自旋转移矩纳米柱振荡器在刚开始工作时,施加一个脉冲磁场能缩短纳米柱振荡器的响应时间。

4. 如权利要求1所述的自旋转移矩纳米柱振荡器,其特征在于:所述自旋转移矩纳米柱振荡器通过减小阻尼系数和自由层的饱和磁化强度能减小临界电流。

5. 如权利要求1所述的自旋转移矩纳米柱振荡器,其特征在于:所述自旋转移矩纳米柱振荡器能够通过多个纳米柱形成的阵列来提高振幅。

6. 一种缩短具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器响应时间的方法,其特征在于:对刚开始工作的具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器施加一个脉冲磁场;所述纳米柱振荡器由叠加的固定层与自由层组成;所述固定层的磁矩方向与纳米柱所在平面垂直,自由层的磁矩方向与纳米柱所在平面平行,直流电流垂直于纳米柱的平面且经过自由层流经固定层。

7. 一种减少具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器临界电流的方法,其特征在于:减小具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器的阻尼系数和自由层的饱和磁化强度来减少临界电流;所述纳米柱振荡器由叠加的固定层与自由层组成;所述固定层的磁矩方向与纳米柱所在平面垂直,自由层的磁矩方向与纳米柱所在平面平行,直流电流垂直于纳米柱的平面且经过自由层流经固定层。

8. 一种提高具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器振幅的方法,其特征在于:所述具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器通过多个纳米柱形成阵列来提高振幅;所述纳米柱振荡器由叠加的固定层与自由层组成;所述固定层的磁矩方向与纳米柱所在平面垂直,自由层的磁矩方向与纳米柱所在平面平行,直流电流垂直于纳米柱的平面且经过自由层流经固定层。

一种具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器

技术领域

[0001] 本发明属于材料领域,具体涉及一种具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器,与传统的纳米柱振荡器不同,该纳米柱振荡器只包含固定层与自由层。

背景技术

[0002] 1996年,Slonczewski和Berger预测了导电电子的自旋矩可以转移到局域磁矩,而自旋极化电流可以使磁矩发生开关,这被称为自旋转移矩(STT)效应。该效应也随之通过实验得到了证实,而自旋转移矩振荡器(STO)是一种基于STT效应的非常重要的自旋电子器件。

[0003] STO是一种利用自旋极化电流与磁纳米结构之间自旋角动量传递的射频器件。最初的STO基于平面内磁化结构,其中外加电流在低阻平行(P)和高阻之间产生磁层的滞回开关。反并联(AP)状态下,自由层磁矩相对于固定层的振荡改变了器件的电阻,在外加磁场和直流电流条件下,产生时变电压。然后,发展出了包含垂直磁晶各向异性(PMA)固定层和面内磁晶各向异性(IMA)自由层的STO。它可以单靠直流电流激发大角度进动,而不需要外场的协助,其特点是自由层磁化强度的高频振荡。在临界电流下,由垂直极化电子产生的自旋转移矩诱导的平面外稳态进动,导致微波信号的振幅增大。

[0004] 现有的自旋转移矩纳米柱振荡器(STNO)通常具有三明治结构,自由层/中间层/固定层,其中自由层和固定层是铁磁层,中间层是非磁性层。电流从使电流极化的固定层流出,然后通过保持极化电流极化状态的中间层,最后进入自由层。STNO的三明治结构使其不易制造,在我们的工作中,我们发现了一种特殊的具有双层结构的纳米柱,可以大大简化生产过程。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器,可以大大简化自旋转移矩纳米柱振荡器的制造工艺,也可以提高纳米柱振荡器的输出功率。同时提出了纳米柱工作过程中缩短响应时间、减少临界电流、提高振幅的办法。

[0006] 一种具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器,由叠加的固定层与自由层组成;所述固定层的磁矩方向与纳米柱所在平面垂直,即垂直磁化,自由层的磁矩方向与纳米柱所在平面平行,即面内磁化,直流电流垂直于纳米柱的平面且经过自由层流经固定层。

[0007] 优选地,固定层材料为垂直磁各向异性可以达到 $10^6\text{J}/\text{m}^3$ 量级的硬磁性材料,自由层的材料为软磁性材料。

[0008] 优选地,所述自旋转移矩纳米柱振荡器在刚开始工作时,施加一个脉冲磁场能缩短纳米柱振荡器的响应时间。

[0009] 优选地,所述自旋转移矩纳米柱振荡器通过减小阻尼系数和自由层的饱和磁化强度能减小临界电流。

[0010] 优选地,所述自旋转移矩纳米柱振荡器能够通过多个纳米柱形成的阵列来提高振

幅。

[0011] 本发明还提供了一种缩短具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器响应时间的方法:对刚开始工作的具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器施加一个脉冲磁场;所述纳米柱振荡器由叠加的固定层与自由层组成;所述固定层的磁矩方向与纳米柱所在平面垂直,自由层的磁矩方向与纳米柱所在平面平行,直流电流垂直于纳米柱的平面且经过自由层流经固定层。

[0012] 本发明还提供了一种减少具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器临界电流的方法:减小具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器的阻尼系数和自由层的饱和磁化强度来减少临界电流;所述纳米柱振荡器由叠加的固定层与自由层组成;所述固定层的磁矩方向与纳米柱所在平面垂直,自由层的磁矩方向与纳米柱所在平面平行,直流电流垂直于纳米柱的平面且经过自由层流经固定层。

[0013] 本发明还提供了一种提高具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器振幅的方法:所述具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器通过多个纳米柱形成阵列来提高振幅;所述纳米柱振荡器由叠加的固定层与自由层组成;所述固定层的磁矩方向与纳米柱所在平面垂直,自由层的磁矩方向与纳米柱所在平面平行,直流电流垂直于纳米柱的平面且经过自由层流经固定层。

[0014] 本发明提供了一种新型的纳米柱振荡器结构,省略了中间隔离层,不仅大大简化了生产工艺流程,更可以轻松地实现多个纳米柱之间的耦合。通过面内脉冲磁场的使用来大大缩短该纳米柱振荡器的响应时间;通过对阻尼系数和自由层饱和磁化强度的调控,可以降低该纳米柱振荡器的临界电流密度;通过多个纳米柱之间的相互耦合振荡,可以大大提高振荡器振幅。

附图说明

[0015] 图1为双层自旋转移矩纳米柱振荡器结构示意图,(a)为单个纳米柱结构图,(b)为纳米柱形成阵列 9×9 阵列的结构示意图;

[0016] 图2给出了由微磁模拟获得的纳米柱振荡器的输出特性,(a)为对于单个纳米柱单纯加电流得到的输出特性,(b)为在电流密度为 $2.23 \times 10^{12} \text{A/m}^2$ 时加入垂直于轴向的磁场得到的输出特性,(c)为对于对个纳米柱形成阵列相对于单个纳米柱在电流密度为 $2.23 \times 10^{12} \text{A/m}^2$ 时的输出特性对比;

[0017] 图3为在电流密度为 $2.23 \times 10^{12} \text{A/m}^2$ 时单个纳米柱的振荡曲线,(a)为只加电流时的振荡曲线,(b)为加了面内脉冲磁场时的振荡曲线;

[0018] 图4为对纳米柱临界电流密度的调控情况,(a)为通过调整阻尼系数来调节临界电流密度,(b)为通过调节自由层饱和磁化强度来调节临界电流密度;

[0019] 图5为对于 9×9 阵列,在电流密度为 $2.23 \times 10^{12} \text{A/m}^2$ 时的振荡耦合情况,其中(a)为所选取的纳米柱的分布,(b)为所选取的几个纳米柱的震荡耦合情况,(c)为在电流密度为 $2.23 \times 10^{12} \text{A/m}^2$ 时多个纳米柱形成阵列相对于单个纳米柱振幅提高倍数。

具体实施方式

[0020] 下面结合具体的实施例对本发明进一步说明。但这些例举性实施方式的用途和目

的仅用来例举本发明,并非对本发明的实际保护范围构成任何形式的任何限定,更非将本发明的保护范围局限于此。

[0021] 实施例1

[0022] 如图1(a)所示,为本实施例提供的一种具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器的结构示意图,包括由垂直磁化的FePt合金构成的固定层,以及由软磁性坡莫合金材料构成的自由层,直流电流通过自由层流入固定层。固定层和自由层均为截面为60nm×60nm,厚度为40nm的方柱形。固定层和自由层没有中间层的隔离而直接接触。阻尼系数为0.05,非绝热项系数为0.02,自旋极化率固定为0.4。

[0023] 所得器件是一种基于自旋转移矩效应的微纳尺度器件,所述微纳尺度器件在电流流过磁性层时被极化产生自旋流,所产生的自旋流可以对磁性薄膜层的磁矩施加自旋转移力矩作用,超过一定的临界电流时,自旋转移力矩则可以完全补偿局部的磁矩进动阻尼,进而输出微波振荡信号。

[0024] 如图2(a)(b)所示,为本实施例所得纳米柱振荡器由微磁模拟获得的输出特性,(a)为对于单个纳米柱单纯加电流得到的输出特性,可以看出,振荡频率可以达到GHz级别,与三层结构相当,且随着电流密度的增加,振荡频率和振幅都呈现上升趋势。(b)为在电流密度为 $2.23 \times 10^{12} \text{A/m}^2$ 时加入垂直于轴向的磁场得到的输出特性,其中正向磁场为与电流方向相同,反向磁场为与电流方向相反。磁场对于振荡频率和振幅的调节相对于电流来说调节幅度更大,对于单个纳米柱,频率可以由一点几GHz调节到接近5GHz。同时振幅的调节范围也可以达到很大。

[0025] 图3为在电流密度为 $2.23 \times 10^{12} \text{A/m}^2$ 时本实施例所得纳米柱振荡器的振荡曲线,(a)为只加电流时的振荡曲线,(b)为加了面内脉冲磁场时的振荡曲线。可以看到,只在电流的作用下,要想得到规律的周期振荡信号需要一段的响应缓冲时间,而如图(b)所示,对本实施例所得纳米柱振荡器施加一个大小为40mT,时间为0.0968ns的极短的面内脉冲磁场,可以缩短甚至是消除振荡响应时间。

[0026] 图4为对本实施例所得纳米柱振荡器的临界电流密度的调控,(a)为采用微磁模拟通过调整阻尼系数 α 来调节临界电流密度,(b)为采用微磁模拟通过调节自由层饱和磁化强度来调节临界电流密度。当阻尼系数由0.01变为0.1时,临界电流密度可以由 $2.23 \times 10^{11} \text{A/m}^2$ 增加到 $2.08 \times 10^{12} \text{A/m}^2$,当自由层的饱和磁化强度由 $6 \times 10^5 \text{A/m}$ 变为 $11.4 \times 10^5 \text{A/m}$,临界电流密度由 $4.41 \times 10^{11} \text{A/m}^2$ 增加到 $2.07 \times 10^{12} \text{A/m}^2$ 。所以通过控制阻尼系数和自由层的饱和磁化强度,可以对于临界电流密度有一个非常大的调控与改善作用。在实际应用中可以通过改变材料的成分来实现阻尼系数和自由层饱和磁化强度的调节。

[0027] 实施例2

[0028] 本实施例对多个所得纳米柱形成的阵列进行了设计,如图1(b)所示,为 9×9 的纳米柱阵列。该阵列是由行和列数均为9,且行间距和列间距均为60nm的81个纳米柱组成。

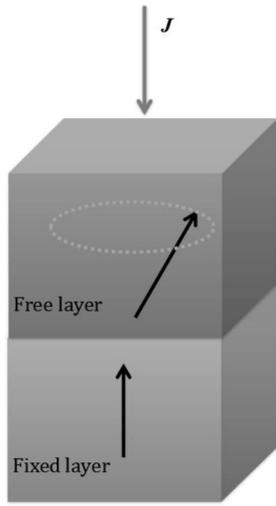
[0029] 图2(c)为对于纳米柱形成阵列相对于单个纳米柱在电流密度为 $2.23 \times 10^{12} \text{A/m}^2$ 时的输出特性对比,可以发现纳米柱阵列相对于单个纳米柱可以在保持频率不变的情况下大幅度的提高振幅,从而提高器件整体的输出信号。

[0030] 图5为对于 9×9 纳米柱阵列运用微磁模拟在电流密度为 $2.23 \times 10^{12} \text{A/m}^2$ 时选取的中间几个纳米柱的振荡曲线,发现他们之间相互耦合的状态十分理想,并且。这也为本发明

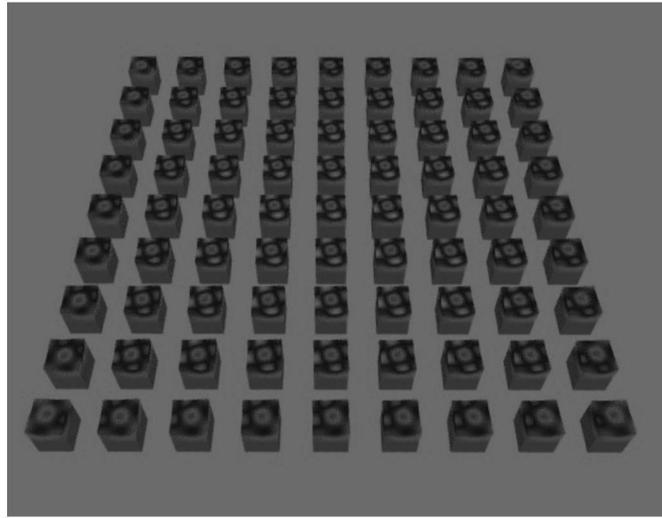
纳米柱阵列提高振幅的目的与效果进行了验证。

[0031] 本发明提供了一种具有涡旋畴壁的双层自旋转移矩纳米柱振荡器,相比于传统三明治结构的纳米柱振荡器,结构更为简单,可以大大简化工艺流程。同时简单的耦合条件使得通过纳米柱阵列提高振幅成为可能。

[0032] 应当理解,这些实施例的用途仅用于说明本发明而非意欲限制本发明的保护范围。此外,也应理解,在阅读了本发明的技术内容之后,本领域技术人员可以对本发明作各种改动、修改和/或变型,所有的这些等价形式同样落于本申请所附权利要求书所限定的保护范围之内。



(a)



(b)

图1

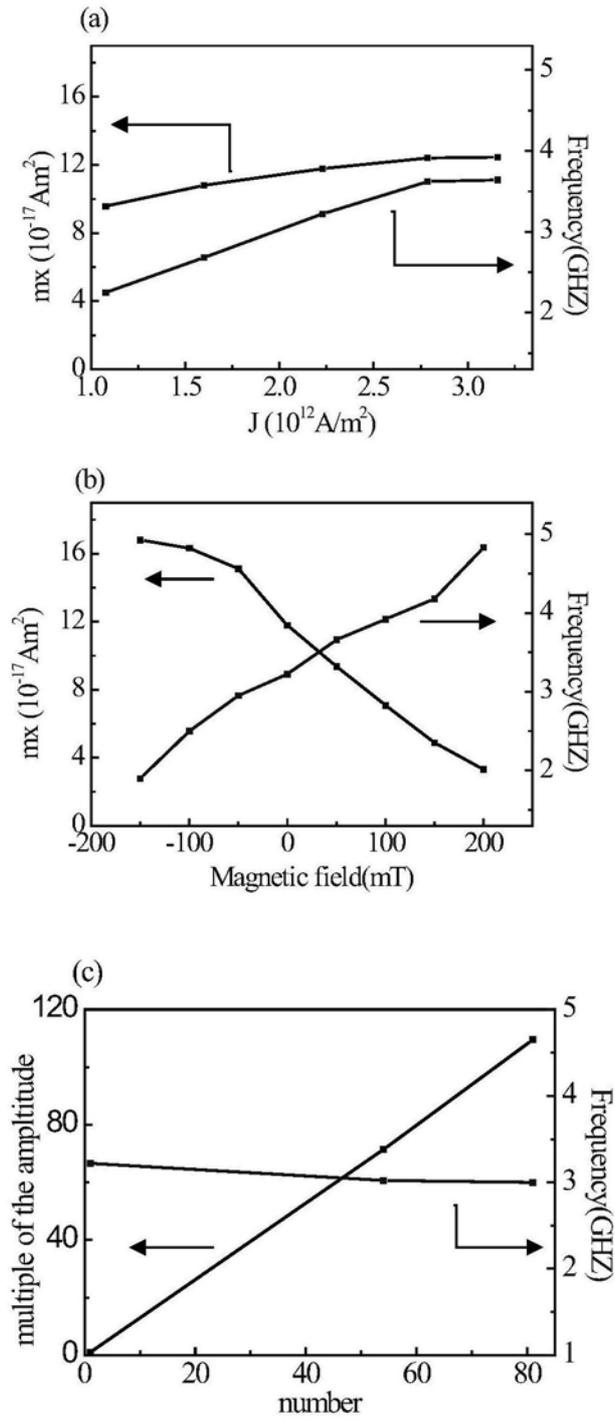


图2

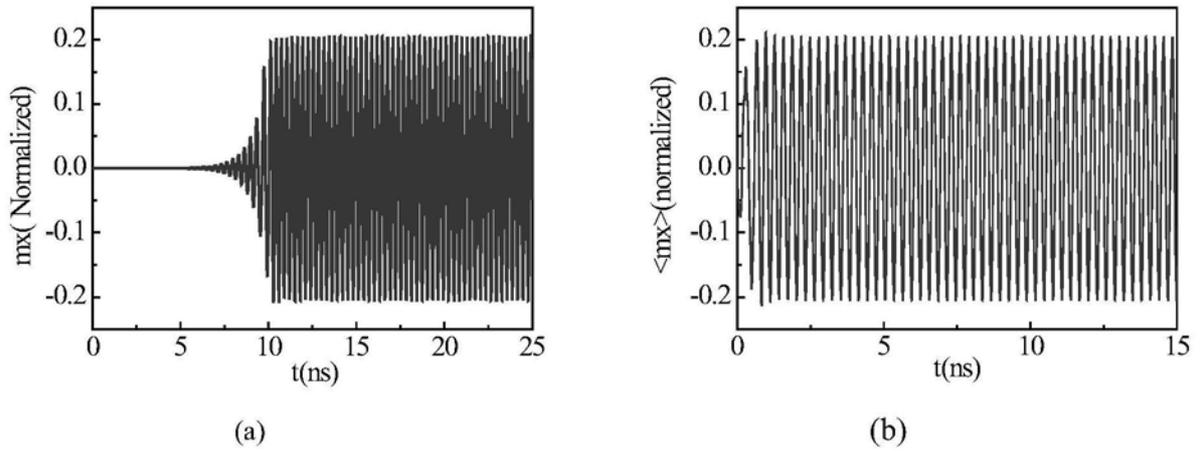


图3

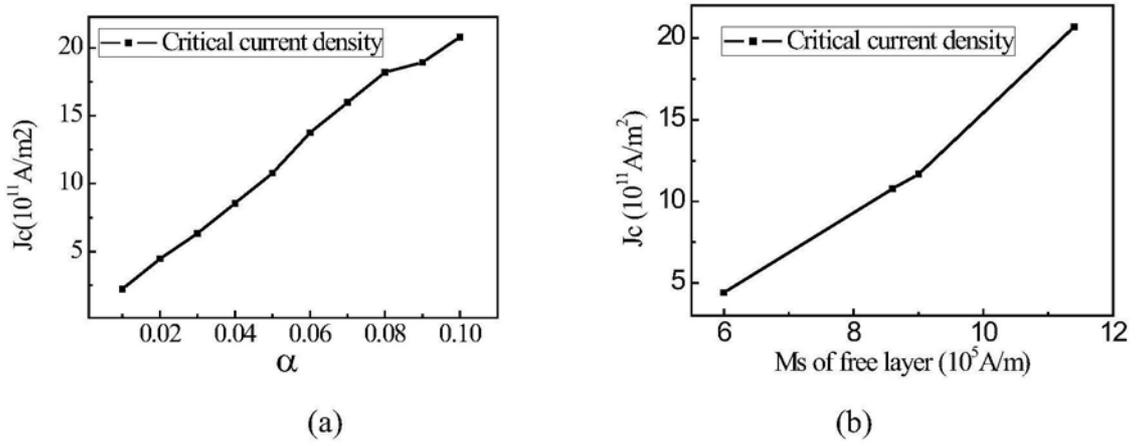
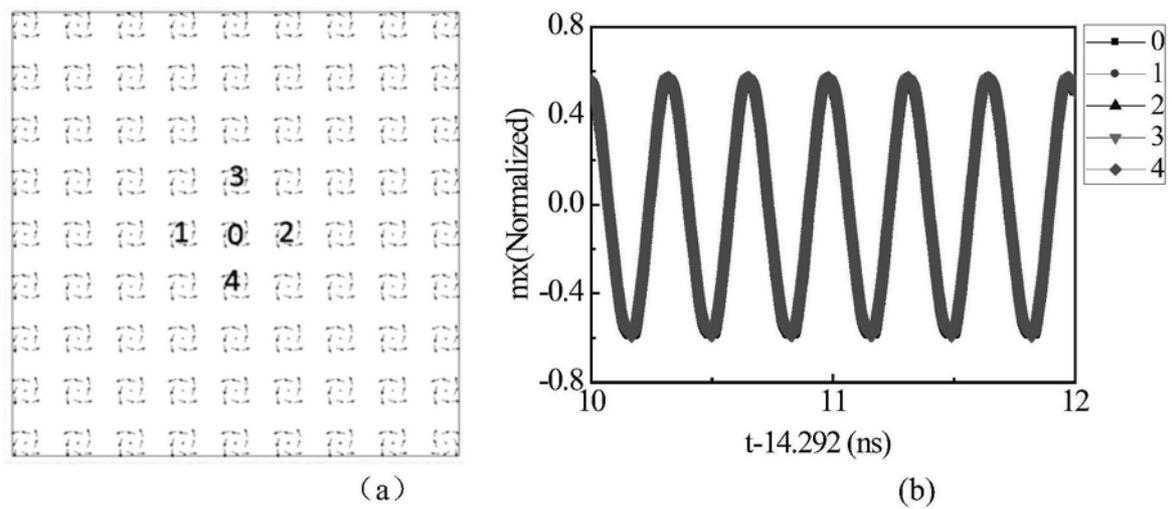
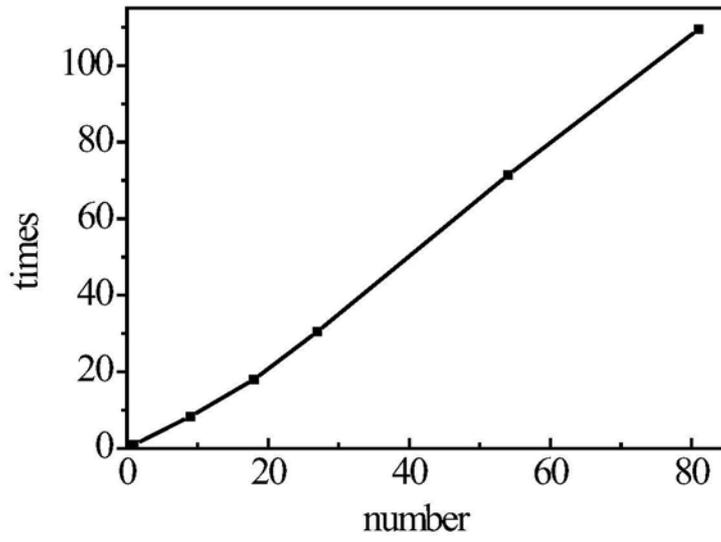


图4





(c)

图5